

MARCELO RENATO LAMOUR

## **DINÂMICA SEDIMENTAR DO CANAL DA GALHETA, VIA DE ACESSO AO PORTO DE PARANAGUÁ - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-  
Graduação em Geologia, Setor de Ciências da  
Terra, Departamento de Geologia, Universidade  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo  
Co-orientadores: Prof. Dr. Eduardo Marone  
Prof. Dr. Augustinho Rigoti

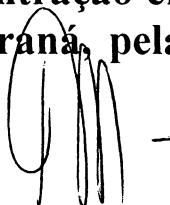
CURITIBA  
2000

# **TERMO DE APROVAÇÃO**


**MARCELO RENATO LAMOUR**

***Dinâmica Sedimentar do Canal da Galheta, Via de Acesso  
ao Porto de Paranaguá, Estado do Paraná.***

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em  
Geologia, com área de concentração em Geologia Ambiental, da  
Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos  
Professores:**



**Presidente: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo**



**Prof. Dr. Moysés Gonzalez Tessler**



**Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa**

**Curitiba, setembro de 2.000**

*À minha Mãe Miracê, inspiração de  
vida, e ao Marão, meu grande Irmão,  
quem despertou a paixão pela Terra.*

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL	5
3.1 Localização	5
3.2 Parâmetros Físicos do Litoral Paranaense	7
3.2.1 Ondas	7
3.2.2 Marés e Correntes de Maré	9
3.3 Clima	12
3.4 Sedimentos de Fundo da Baía de Paranaguá	13
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4.1 Geoestatística	14
4.2 Formas de Leito	16
4.3 Deltas de Maré	18
5. MATERIAL E MÉTODOS	23
5.1 Trabalhos de Campo	23
5.1.1 Amostragem de Sedimentos	23
5.2 Trabalhos de Laboratório	26
5.2.1 Processamento das Amostras	26
5.2.2 Análise de Granulometria	27
5.2.3 minerais Pesados	27
5.3 Comparação Batimétrica	27
5.4 Cálculo dos Volumes	30
5.4.1 Métodos de Interpolação	30
5.4.2 Método dos Volumes	31
6. RESULTADOS	32
6.1 Descrição dos Sedimentos	32
6.1.1 Parâmetros Estatísticos	32
6.1.1.1 Diâmetro médio	32
6.1.1.2 Grau de seleção	35
6.1.1.3 Assimetria	37
6.1.1.4 Curtose	40
6.1.2 Teores de Matéria Orgânica e Carbonato Biogênico	42



6.1.3 Minerais Pesados Não Opacos	44
6.2 Morfologia da Desembocadura Sul da Baía de Paranaguá	47
6.3 Formas de Leito	54
6.4 Comparações Batimétricas	57
6.4.1 Setor Externo	57
6.4.2 Setor Interno	66
6.5 Balanço Volumétrico	70
6.5.1 Canal da Galheta	70
7. DISCUSSÃO	73
7.1 Dinâmica de Circulação dos Sedimentos no Delta	73
7.2 Formas de Leito e Características dos Sedimentos	78
7.3 Taxas de Sedimentação	79
8. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS	80
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

## **ANEXOS**

### **Anexo I – Articulações das Folhas de Bordo utilizadas.**

<b>Figura I.1:</b> Articulação das folhas de bordo de 1972	89
<b>Figura I.2:</b> Articulação das folhas de bordo de 1975	89
<b>Figura I.3:</b> Articulação da folha de bordo de 1978	90
<b>Figura I.4:</b> Articulação da folha de bordo de 1983	90
<b>Figura I.5:</b> Articulação das folhas de bordo de 1984	91
<b>Figura I.6:</b> Articulação da folha de bordo de 1991	91
<b>Figura I.7:</b> Articulação das folhas de bordo de 1993	92
<b>Figura I.8:</b> Articulação das folhas de bordo de 1994	92
<b>Figura I.9:</b> Articulação das folhas de bordo de 1997	93
<b>Figura I.10:</b> Articulação das batimetrias de 1998, anteriores a dragagem deste ano	93
<b>Figura I.11:</b> Articulação das batimetrias de 1998, posteriores a dragagem deste ano	94

### **Anexo II – Tabela de coordenadas dos pontos amostrais**

<b>Tabela II.1:</b> Coordenadas (UTM) das amostras coletadas no canal da Galheta	95
--	----

### **Anexo III – Tabelas dos dados granulométricos**

<b>Tabela III.1:</b> Resultados das análises granulométricas das amostras coletadas. AMG – Areia Muito Grossa; AG – Areia Grossa; AM – Areia Média; AF – Areia Fina, e AMF – Areia Muito Fina	96
<b>Tabela III.1 (continuação):</b> Resultados das análises granulométricas das amostras coletadas. AMG – Areia Muito Grossa; AG – Areia Grossa; AM – Areia Média; AF – Areia Fina, e AMF – Areia Muito Fina	97

**Tabela III.1 (continuação):** Resultados das análises granulométricas das amostras coletadas.

AMG – Areia Muito Grossa; AG – Areia Grossa; AM – Areia Média; AF – Areia Fina, e AMF –  
Areia Muito Fina

98

**Tabela III.1 (continuação):** Resultados das análises granulométricas das amostras coletadas.

AMG – Areia Muito Grossa; AG – Areia Grossa; AM – Areia Média; AF – Areia Fina, e AMF –  
Areia Muito Fina

99

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rodolfo José Angulo pela forma de orientar, que em muito contribuiu no meu desenvolvimento e amadurecimento científico, fazendo aprender como se trabalha Geologia.

Ao Prof. MSc. Carlos Roberto Soares, por ter revelado a Geologia Costeira, e pelo convívio em todo esse tempo. Pelas sempre boas conversas, que muitas vezes resultaram em melhora. Pela amizade nos momentos complicados.

À MSc. Luciana Pinto Sartori, pela correção do *abstract* e pelas leituras críticas do texto. Acima de tudo, pela pessoa que é, maravilhosamente indescritível.

Aos caros colegas de laboratório Lydio Luiz Risseti Odresky, Alfredo Duarte Araújo e João Carlos Carrilho, pelo convívio e pelas contribuições.

À MSc. Eloise Cury da Silva, pelas “ajudas” estatísticas, e pelo incentivo incansável para a confecção deste trabalho.

À Márcia Salete Bernini e Sirlei Ghisi de Oliveira, pelas análises granulométricas.

Ao MSc. Maurício de Almeida Noernberg, pelo sempre pronto interesse em ajudar.

À Alcimar Henrique, por ceder as fotos aéreas do “magnífico” canal da Galheta.

À Mariluce Zanela pela disposição nas correções das referências bibliográficas.

Aos companheiros de embarque Carlos, Lydio, João, Alfredo, Eloise, Mário Preto Neto, e aos barqueiros Abraão, Josias, e José, pela ajuda incalculável nas fases de campo. Principalmente quando o mar estava “feito”.

À todos, sem exceção, que mantiveram o bom humor, melhorando muito os maus humores do dia a dia.

À UFPR, na forma do DEGEO, pela oportunidade do desenvolvimento deste trabalho, como também à APPA que através do convênio firmado com o CEM, financiou este trabalho.

## RESUMO

A baía de Paranaguá está localizada no litoral centro-norte do Estado do Paraná. Três canais naturais dão acesso ao oceano Atlântico denominados de Norte e Sueste, à norte da Ilha do Mel, e da Galheta à sul da mesma ilha. Este último é a principal via de acesso ao porto de Paranaguá. Para que sejam mantidas profundidades seguras de navegação, é necessário que sejam feitas dragagens periódicas. Os objetivos principais deste trabalho foram o de caracterizar os sedimentos de fundo do canal e suas adjacências entre 1972 e 1998; acompanhar as variações morfológicas que ocorreram na superfície de fundo; quantificar taxas de sedimentação para os trechos com assoreamento crítico, e compreender os processos que transportam os sedimentos na desembocadura sul da baía. Os sedimentos do canal da Galheta são compostos predominantemente por areias finas, moderadamente à bem selecionadas, com assimetria muito negativa, sendo leptocúrticas no setor externo, e extremamente leptocúrticas à muito leptocúrticas no setor interno. A direção preferencial de chegadas de ondas é do quadrante SE e a deriva longitudinal no sentido NE. O fluxo sedimentar que se desloca ao longo do litoral paranaense divide-se em dois fluxos principais: 1) no setor externo um, contorna o lobo terminal do delta de vazante, flexionando o eixo navegável do canal com uma frente de avanço preferencial. Apesar das tentativas de retificação deste eixo, pelas dragagens, uma curvatura persistiu ao longo das décadas; 2) no setor interno o fluxo sedimentar adentra o estuário, seguindo próximo à margem do balneário Pontal do Sul, sendo redirecionado pelas correntes de vazante provindas do canal da Cotinga, para o canal da Galheta. Com a perda de energia das correntes de maré, no trecho mais largo do estuário, os sedimentos depositam-se formando o banco interno. As taxas de sedimentação obtidas para o setor externo variaram entre 19.288,8 e 229.245,8 m<sup>3</sup>/mês, sendo necessário um maior conjunto de dados, para a confirmação de um possível padrão de assoreamento no canal.

## ABSTRACT

The Bay of Paranaguá is located on the center-north littoral of the State of Paraná. Three natural channels give access to the Atlantic Ocean denominated as North and Southeast, north of Island do Mel, and Galheta's Channel, south of the same island. This last one is the main access way to the Port of Paranaguá, where it is necessary to dredge it periodically to keep a safe depth for navigation. This study aims to characterize the bottom sediments of the channel and its adjacencies; to characterize the morphological variations undergone by the channel between 1972 and 1998; to quantify the sedimentation rates of some critical sections of the channel, and understand the processes that transport the sediments along the southern mouth of the Bay. The sediments of the Galheta's channel are mostly composed of fine sands, moderately to well sorted, with very negative asymmetry, being leptocurtic on the external sector, and extremely leptocurtic to very leptocurtic on the inner sector. The wave trains arrive preferentially from SE and the longitudinal drift of the coastal sediments is to NE. The sediment flux that moves along the littoral of Paraná is divided in two main fluxes: 1) on the external sector, one contours the terminal lobe of the ebb-tidal delta, deflecting the channel to the NE. In spite of the rectification attempts, by dredging, channel deflection has persisted through the past decades; 2) on the inner sector, the sediment flux moves up the estuary, along the margin of the balneary Pontal do Sul, being redirected by the ebb-tide currents proceeding from the Cotinga's channel, to the Galheta's channel. As tide currents lose energy, on the widest portion of the estuary, the sediments are deposited forming an inner bank. Sedimentation rates calculated for the external sector varied between 19.288,8 and 229.245,8 m<sup>3</sup>/month, respectively, but a larger data set is necessary, for the confirmation of this pattern of channel shoaling.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A.P. – Antes do Presente.

APPA – Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina.

CBD – Companhia Brasileira de Dragagens.

CEM – Centro de Estudos do Mar.

CEBP – Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.

DGPS – Differential Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global Diferencial).

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação.

GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global).

LOGEO – Laboratório de Oceanografia Geológica.

LFM – Laboratório de Oceanografia Física.

UFPR – Universidade Federal do Paraná.

*teu* – Medida de dimensionamento de contêineres. 1 *teu* corresponde a 20 metros lineares.

UTM – Universal Transversal de Mercator.

Ø - Phi

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Valores de altura, período e direção de ondas entre os dias 21 de agosto de 1982 e 21 de janeiro de 1983.	8
<b>Tabela 2:</b> Características das marés na baía de Paranaguá (Marone <i>et al.</i> , 1997).	10
<b>Tabela 3:</b> Classificação descritiva de dunas (modificado de Ashley, 1990).	16
<b>Tabela 4:</b> Características das dragas busca-fundo utilizadas na aquisição de amostras.	25
<b>Tabela 5:</b> Coordenadas UTM dos pontos iniciais dos perfis praias do balneário Pontal do Sul.	26
<b>Tabela 6:</b> Relação das folhas de bordo utilizadas neste trabalho.	29
<b>Tabela 7:</b> Resultados das análises quantitativas e qualitativas dos minerais pesados. Em vermelho as amostras coletadas no setor interno, em azul as amostras coletadas no setor externo, e em verde as amostras coletadas no balneário Pontal do Sul.	46
<b>Tabela 8:</b> Volume do canal da Galheta, no setor externo em relação a superfície batimétrica original de Maio de 1972.	70
<b>Tabela 9:</b> Volume do canal da Galheta no setor interno, em relação a superfície batimétrica original de Maio de 1972.	71
<b>Tabela 10:</b> Volumes e taxas de assoreamento no setor externo do canal da Galheta.	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de localização da área de estudo.	3
<b>Figura 2:</b> Mapa de localização do canal da Galheta com suas bóias balizadoras e principais feições associadas.	6
<b>Figura 3:</b> Principais feições da desembocadura sul da baía de Paranaguá (Fonte: Henrique, A.S., APPA, 1999).	7
<b>Figura 4:</b> Histograma polar de distribuição das direções de corrente de superfície no canal da Galheta bóias 3-4. As linhas vermelhas, paralelas, indicam as margens do canal (Marone <i>et al.</i> , 1999).	11
<b>Figura 5:</b> Vetores de correntes de maré enchente (A), e vazante (B) na baía de Paranaguá (modificada de Marone <i>et al.</i> , 1999).	11
<b>Figura 6:</b> Pluviosidade do balneário Pontal do Sul entre os anos de 1972 e 1998. Os valores são referentes a somatória dos valores obtidos em leituras diárias de cada ano (Fonte dos dados: Laboratório de Física Marinha - CEM).	12
<b>Figura 7:</b> Diagrama tridimensional relacionando profundidade, velocidade de fluxo e tamanho de grão com os campos de regime de fluxo (Rubin & McCulloch, 1980).	17
<b>Figura 8:</b> Modelo morfológico geral de delta de maré vazante em costas com mesomares com influência combinada de ondas e correntes (Hayes, 1980).	20
<b>Figura 9:</b> Modelo de delta de maré enchente mostrando os principais componentes morfológicos (Hayes, 1980).	21
<b>Figura 10:</b> Deltas de maré na desembocadura sul da baía de Paranaguá. Delta de maré vazante: (1) barras de espraiamento; (2) barra linear de margem de canal; (3) lobo terminal; (4) canal principal de vazante; e (5) canal marginal de enchente. Delta de maré enchente: (6) rampa de enchente; (7) esporão de vazante; (8) direção preferencial inferida, de migração de formas de fundo; e (9) direção inferida de deriva litorânea (Angulo, 1999).	22
<b>Figura 11:</b> Mapa de pontos das amostras coletadas, indicando em vermelho os 19 perfis transversais realizados.	24
<b>Figura 12:</b> Distribuição dos valores de diâmetro médio no canal da Galheta e adjacências.	33
<b>Figura 13:</b> Variação dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.	34
<b>Figura 14:</b> Distribuição dos valores de grau de seleção do canal da Galheta e adjacências.	36
<b>Figura 15:</b> Variação dos valores de grau de seleção dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.	37
<b>Figura 16:</b> Distribuição dos valores de assimetria granulométrica do canal da Galheta e adjacências.	38
<b>Figura 17:</b> Variação dos valores de assimetria dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.	39



<b>Figura 18:</b> Variação dos valores de curtose dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.	40
<b>Figura 19:</b> Distribuição dos valores de curtose do canal da Galheta e adjacências.	41
<b>Figura 20:</b> Variação dos valores de carbonato biodetrítico dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.	42
<b>Figura 21:</b> Distribuição dos valores de porcentagem de carbonato biodetrítico no canal da Galheta e adjacências.	43
<b>Figura 22:</b> Distribuição dos minerais instáveis mais comuns (Hornblenda + Hiperstênio), presentes no canal da Galheta e Balneário Pontal do Sul.	45
<b>Figura 23:</b> Distribuição dos minerais ultraestáveis (ZTR) no canal da Galheta e balneário Pontal do Sul.	45
<b>Figura 24:</b> Mapa de localização das áreas de comparação batimétrica, nos setores interno e externo do canal da Galheta, associadas às feições morfológicas do modelo de delta de maré vazante e de enchente descritos por Hayes (1980). Situação em 1972.	49
<b>Figura 25:</b> Mapa de localização das áreas de comparação batimétrica, nos setores interno e externo do canal da Galheta, associadas às feições morfológicas do modelo de delta de maré vazante e de enchente descritos por Hayes (1980). Situação em 1998.	50
<b>Figura 26:</b> Foto aérea do balneário Pontal do Sul, onde observa-se o canal marginal do delta de maré vazante da baía de Paranaguá, e a ação das correntes de enchente na desembocadura do canal da DNOS.	51
<b>Figura 27:</b> Mapa de superfície de fundo do canal da Galheta em 1972, com a indicação das feições morfológicas associadas.	52
<b>Figura 28:</b> Mapa de superfície de fundo do canal da Galheta em 1998, com a indicação das feições morfológicas associadas.	53
<b>Figura 29:</b> Figura sombreada das batimetrias realizadas em 1972 (A), e 1998 (B), mostrando a orientação das linhas de cristas das ondas de areia ( <i>sandwaves</i> ) do canal da Galheta. Em azul o perfil batimétrico realizado e em vermelho as bóias balizadoras.	55
<b>Figura 30:</b> Perfil batimétrico mostrando o comprimento de onda e altura das ondas de areia ( <i>sandwaves</i> ), em 1972.	56
<b>Figura 34:</b> Perfil batimétrico mostrando as dimensões das ondas de areia ( <i>sandwaves</i> ) em 1998.	56
<b>Figura 32:</b> Localização das áreas onde foram efetuadas as comparações batimétricas no canal da Galheta, em relação às feições morfológicas dos deltas de maré vazante e enchente descritos Angulo (1999).	58
<b>Figura 33:</b> Blocos diagrama representando as modificações morfológicas ocorridas no setor externo do canal da Galheta, entre os anos de 1972 e 1983.	59
<b>Figura 33 (continuação):</b> Blocos diagrama representando as modificações morfológicas ocorridas no setor externo do canal da Galheta, entre os anos de 1991 e 1993.	62
<b>Figura 33 (continuação):</b> Blocos diagrama representando as modificações morfológicas ocorridas no setor externo do canal da Galheta, entre os anos de 1993 e 1994.	63

<b>Figura 33 (continuação):</b> Blocos diagrama representando as modificações morfológicas ocorridas no setor externo do canal da Galheta, entre os anos de 1997 e 1998.	64
<b>Figura 34:</b> Blocos diagrama demonstrando as variações morfológicas ocorridas no setor interno do canal da Galheta entre 1972 e 1984.	68
<b>Figura 34 (continuação):</b> Blocos diagrama demonstrando as variações morfológicas ocorridas no setor interno do canal da Galheta entre 1994 e 1998.	69
<b>Figura 35:</b> Modelo de circulação dos sedimentos e das correntes de enchente e início de vazante, no canal da Galheta.	75
<b>Figura 36:</b> Modelo de circulação dos sedimentos e das correntes de vazante, no canal da Galheta.	76

## 1. INTRODUÇÃO

Regiões de desembocaduras estuarinas são áreas de dinâmica complexa, apresentando variações da linha de costa e do relevo submarino. Estas alterações naturais dificultam a ocupação e utilização econômica, exigindo diversas modificações no meio físico, como muros de arrimo, gabiões e dragagens, para sua utilização. Portos localizados no interior de estuários apresentam problemas freqüentes relacionados à navegabilidade das vias de acesso. As profundidades naturais dos canais de acesso muitas vezes não permitem a navegação segura, implicando na necessidade de dragagens

Economicamente, o porto de Paranaguá (Figura 1) é o mais importante porto do sul do país, região predominantemente agrícola, por onde são exportados cereais e derivados. Ademais, o porto polariza o fluxo inverso de importação de fertilizantes para as mesmas áreas de produção.

O canal da Galheta (Figura 1) é a principal via de acesso ao porto, apresentando problemas com assoreamento desde a sua abertura, em 1972. As autoridades portuárias identificam áreas críticas de assoreamento quase que em toda a extensão do canal. No passado, outras vias de acesso foram utilizadas, como os canais Norte e Sueste, abandonados pela presença de rochas no fundo, o que oferecia perigo ao trânsito de grandes navios. Segundo dados da ENCAL (1972), o canal da Galheta não apresenta fundo rochoso, nem na entrada do canal, nem na extensão do banco da Galheta.

Durante anos a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) vem mantendo o canal da Galheta com profundidades seguras de navegação através de dragagens periódicas ao longo de setores específicos do canal. Existem dois trechos do canal onde o assoreamento é mais intenso, necessitando assim de dragagens mais freqüentes. Apesar das intensas obras realizadas neste local durante vários anos as autoridades portuárias, e o meio científico desconhecem os processos pelos quais os sedimentos são carregados para estes trechos preferenciais de assoreamento.

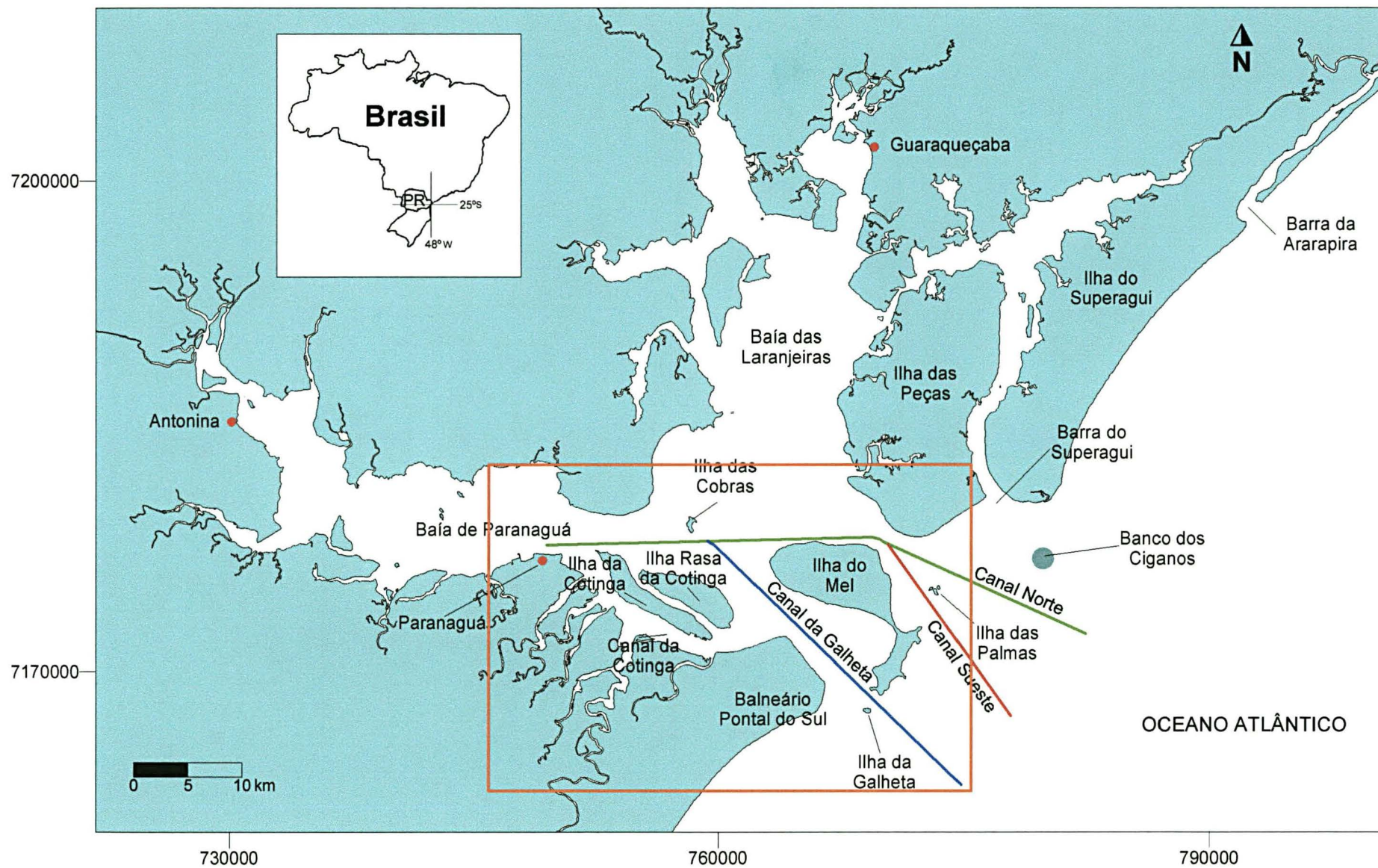
Esse canal pode ser dividido em três setores denominados interno autolimpante e externo. Os setores interno e externo são dragados com freqüência, enquanto que o autolimpante, não necessita de dragagens mantendo profundidades naturais de até 38 m (Figura 2).

A desembocadura sul da baía de Paranaguá foi caracterizada por Angulo (1992) como o maior delta de maré vazante do litoral do Paraná. O canal da Galheta foi dragado neste contexto, modificando a circulação dos fluxos de correntes, implicando também na alteração do transporte de sedimentos na área.

O assoreamento concentrado nessas áreas provavelmente está relacionado com a dinâmica sedimentar da desembocadura sul da baía de Paranaguá. A compreensão desta dinâmica auxiliará no entendimento dos processos de assoreamento do canal, melhorando a eficiência das dragagens, permitindo um planejamento das companhias de dragagens.

Diversos portos brasileiros enfrentam problemas relativos à assoreamento como por exemplo os de Itajaí, de Aracajú, e de Santos, que matem seus canais de acesso em operação através de dragagens.

Dados relativos a volumes retirados em dragagens não são disponíveis ao conhecimento público, mantendo-se exclusivos dos respectivos portos. Da mesma forma o porto de Paranaguá draga quase que anualmente sedimentos de fundo do estuário, aumentando cada vez mais as profundidades dos canais de acesso, para a ampliação de capacidade de tráfego de navios cada vez maiores.



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos principais deste trabalho são os seguintes: (i) caracterizar os sedimentos de fundo da desembocadura sul da baía de Paranaguá; (ii) caracterizar a evolução da batimetria dos setores críticos de assoreamento no canal da Galheta, entre 1972 e 1998; (iii) determinar taxas de assoreamento nestes setores; (iv) caracterizar a morfologia de fundo do canal nestes setores; (v) tentar compreender os processos de transporte e deposição dos sedimentos na desembocadura sul da baía de Paranaguá e especificamente dos sedimentos que assoreiam os setores críticos do canal; (vi) sugerir medidas para minimizar os problemas de assoreamento da canal.

### 3. CARACTERIZAÇÃO GERAL

#### 3.1 Localização

Segundo Angulo (1992) a baía de Paranaguá pode ser considerada como um complexo estuarino, pois deságuam nela diversos rios que dão origem a estuários menores, como por exemplo a baía de Antonina onde deságuam os rios Cachoeira e Nhundiaquara.

O Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá está localizado na porção centro norte do litoral paranaense, entre os paralelos 25° 00'S e 25° 35'S, e os meridianos 48° 15'W e 48° 50'W. Subdivide-se em dois eixos principais, denominados de baía de Paranaguá, com 56 km de extensão no eixo leste-oeste, e baía das Laranjeiras, com 30 km de extensão no eixo norte-sul, havendo outros segmentos menores.

Duas desembocaduras, norte e sul, fazem a conexão do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá com o oceano, tendo ambos servido como vias de navegação ao porto de Paranaguá desde sua implantação, no século XVI. Na desembocadura norte foram implantados dois canais navegáveis denominados de canal Norte, localizado a norte da Ilha das Palmas, e canal Sueste, localizados a sul da mesma ilha. Na desembocadura sul deste complexo está localizado o canal da Galheta, que vem sendo utilizado como principal via de acesso desde 1975 (Figura 1).

O setor interno estende-se entre as bóias 9 e 20, compreendido entre a Ilha do Mel (7.169.023 S - 769.284 W, coordenadas da Ponta Caraguatá) e o balneário Pontal do Sul (7.168.850 S - 766.166 W, coordenadas do CEM) (Figura 2), sendo utilizado como canal navegável apenas uma faixa de aproximadamente 200 m de largura. Às margens deste canal navegável localiza-se o Banco da Galheta onde formam-se ondas devido às pequenas profundidades do local (Figura 3).



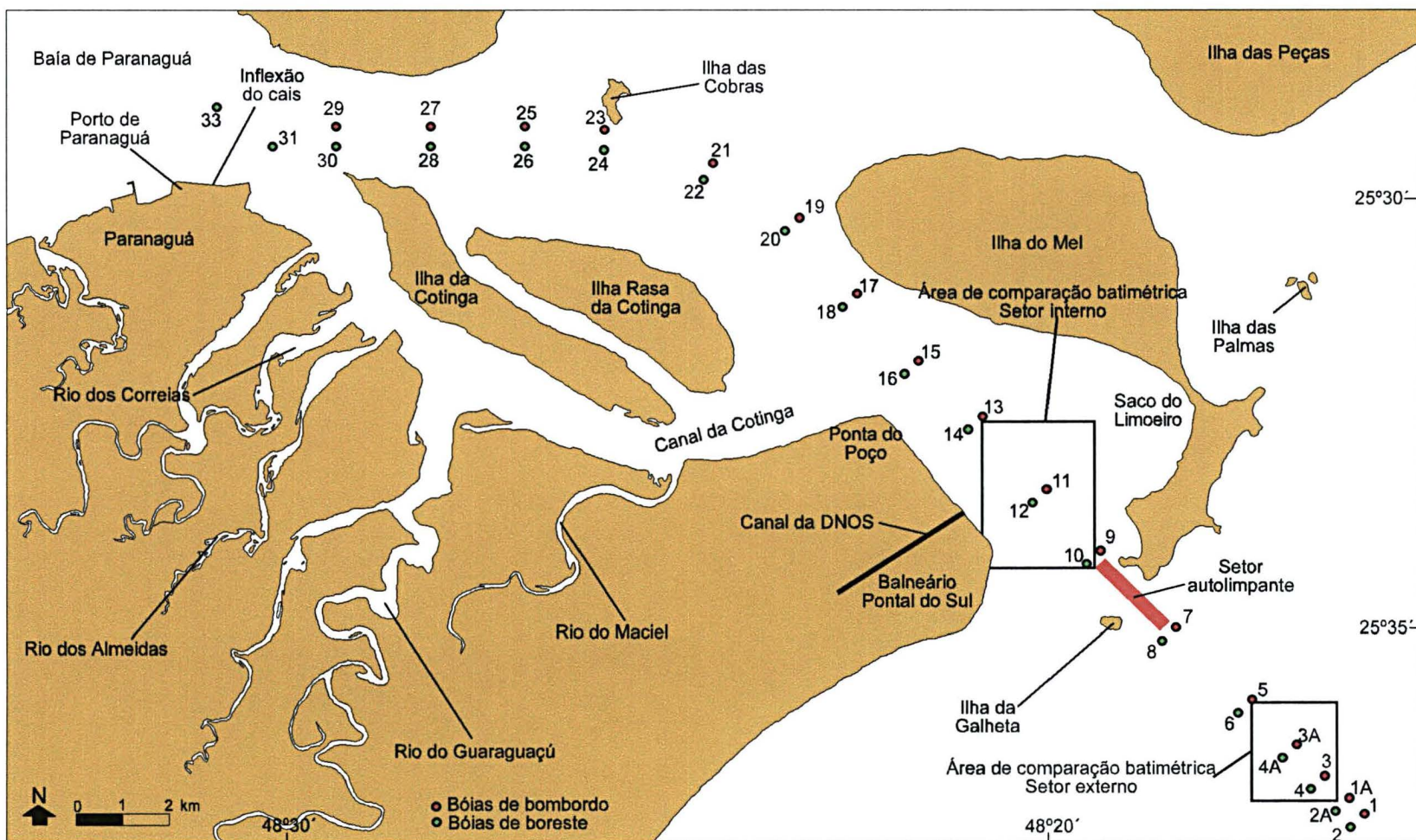
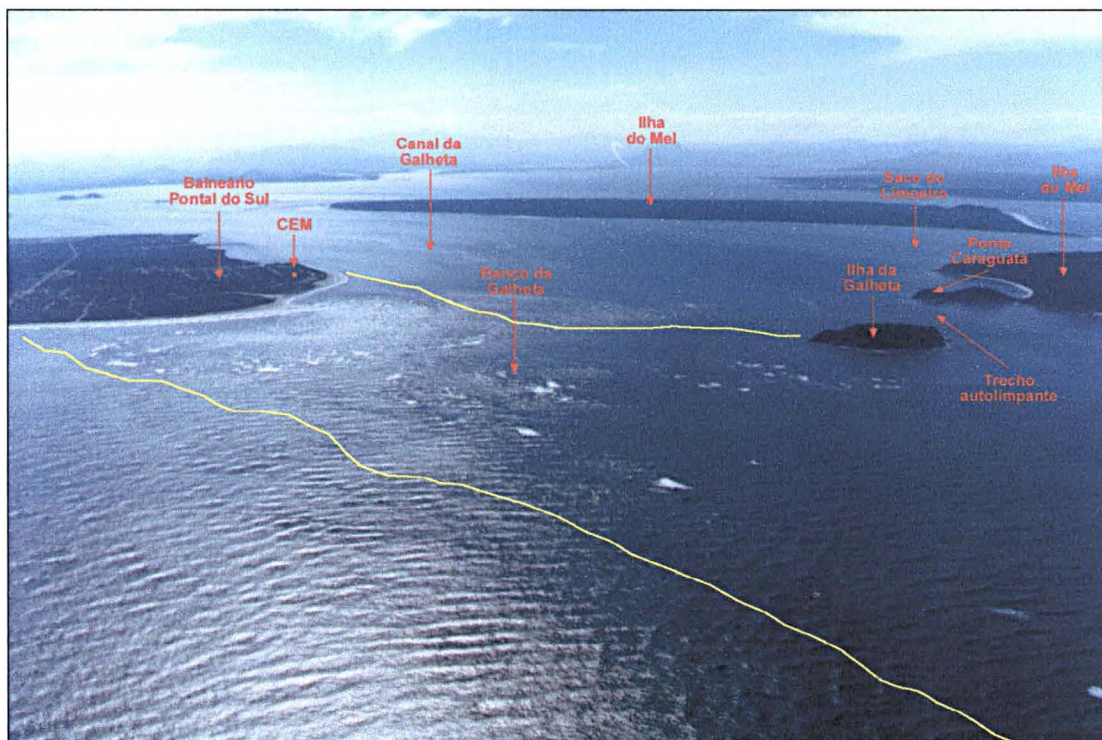


Figura 2: Mapa de localização do canal da Galheta com suas bóias balizadoras e principais feições associadas.





**Figura 3:** Principais feições da desembocadura sul da baía de Paranaguá onde podem ser visualizadas as ondas formadas sobre o Banco da Galheta (Fonte: Henrique, A.S., APPA, 1999).

Longitudinalmente, o canal da Galheta tem 30 km de extensão, compreendidos entre as bóias balizadoras 01 e 33 nas proximidades do cais do porto de Paranaguá (Figura 2).

### 3.2 Parâmetros Físicos do Litoral Paranaense

Na década de 1980 foram feitos os primeiros levantamentos de parâmetros físicos no litoral paranaense, e a partir da década de 1990 os estudos foram intensificados devido a necessidade de uma melhor caracterização da baía de Paranaguá no tocante à ação portuária (Portobrás, 1983 e Marone *et al.*, 1997).

#### 3.2.1 Ondas

Os levantamentos realizados entre os meses de agosto e dezembro de 1982, com um ondógrafo instalado entre a Praia de Leste e a Ilha de Currais mostraram dois trens preferenciais de ondas, provenientes das direções N74° e N174° (direções

ENE e SSE/SE, respectivamente), e que as ondas mais altas vêm do quadrante SE (Portobrás, 1983).

Os azimutes de frente de ondas observados no período (Tabela 1), referem-se a dois sistemas distintos de geração de ondas: a direção N74° é gerada pela atuação dos ventos associados ao anticlone tropical do Atlântico Sul (centro de alta pressão), caracterizando ondas bastante regulares e não tão altas, enquanto a direção N147° se relaciona à passagem de sistemas meteorológicos que ocasionam a formação de “ondas de tempestade” (Portobrás, 1983).

**Tabela 1:** Valores de altura, período e direção de ondas entre os dias 21 de agosto de 1982 e 21 de janeiro de 1983.

<b>Parâmetros</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>Altura máxima (m)</b>	2,35	3,95	3,2	2,65	3,5
<b>Altura significativa (m)</b>	1,58	2,54	2,04	1,49	2,13
<b>Período médio (s)</b>	16,53	10,73	12,0	9,8	12,0
<b>Direção</b>	-	112°	133°	140°	123°

Fonte: Portobrás (1983).

Novas observações de ondas foram realizadas pelo Laboratório de Oceanografia Física (LFM/CEM) entre a Ilha da Galheta e o balneário Pontal do Sul em períodos de verão (17/01/97 a 06/02/97) e inverno (14/08/97 a 19/08/97).

Segundo Marone *et al.* (1997), em períodos de verão as ondas que adentram a baía, pelo setor entre a Ilha da Galheta e o balneário Pontal do Sul, apresentam alturas significativas menores que 0,5 m, com períodos da ordem de 7 s. Ondas menores, com alturas de até 0,25 m, apresentam períodos chegando a atingir até 12 s. A direção média principal de chegada de ondas é SE. Ainda segundo os mesmos autores, as ondas possuem uma característica não linear de propagação, implicando em um maior poder energético na ressuspensão e no transporte de sedimentos.

O Banco da Galheta age como uma proteção natural à ação das ondas de superfície na região do setor interno do canal da Galheta. Isto devido aos períodos onde há efetiva ação das ondas de superfície seguidas de períodos de ausência de ondas, justificados pela topografia rasa do banco (Marone *et al.*, 1997).

Para o período de inverno as ondas apresentam alturas significativas menores que 0,3 m, com períodos da ordem de 5 s. A direção principal de chegada

de ondas, é S-SE, ligeiramente diferente da situação encontrada no verão (Marone *et al.*, 1997). O período de levantamento dos dados foi de extrema calmaria, sendo que os autores recomendam mais medições, em condições energéticas mais fortes, comuns para o inverno.

Nos períodos de maré baixa, o Banco da Galheta continua a atuar como quebra-mar, esgotando por atrito com o fundo a maior parte da energia das ondas e protegendo da ação destas o setor interno do canal da Galheta (Marone *et al.*, 1997).

### 3.2.2 Marés e Correntes de Maré

O complexo estuarino da baía de Paranaguá, pode ser classificado como um estuário parcialmente misturado do tipo B, tendo ainda in-homogeneidades laterais (Marone *et al.*, 1997). Em estuários deste tipo, os quais são normalmente rasos, a salinidade aumenta de montante para jusante em todas as profundidades. A água está essencialmente em duas camadas, com a camada superior um pouco menos salina que a mais profunda (Pickard & Emery, 1990).

A baía de Paranaguá possui um regime de marés semi-diurno, isto é, ocorrem duas preamares e duas baixa-mares, em um dia lunar (24h 50 min.). A amplitude de marés no litoral do estado do Paraná, é inferior a 2 m em períodos de sizígia, o que indica um regime de micromarés (Marone *et al.*, 1997) (Tabela 2).

Os dados de maré mostram uma grande assimetria destas no complexo estuarino, fazendo com que não haja um único horário de preamares que possa ser usado como referência para as cartas de correntes (Marone *et al.*, 1999).

Em canais estreitos, o padrão de deslocamento das correntes de marés é o de uma corrente de enchente e outro de vazante, na direção oposta. Em águas abertas, a direção de fluxo sofre uma rotação com período semi-diurno (Guimarães & Marone, 1996).

Recentes avaliações de campo sugerem que a média dos valores de descarga de água doce, para a baía de Paranaguá, seria próxima à 200 m<sup>3</sup>/s (Lana *et al.*, 2000). O tempo necessário para troca completa da água do sistema o (tempo do fluxo) é de 3,5 dias (LFM, 1999).

**Tabela 2:** Características das marés na baía de Paranaguá (Marone *et al.*, 1997).

<b>Local</b>	<b>Tempo de enchente (h)</b>	<b>Tempo de vazante(h)</b>	<b>Amplitude de sizígia (m)</b>	<b>Amplitude de quadratura (m)</b>
<b>Galheta</b>	6,8	5,5	1,74	1,30
<b>Cobras</b>	-	-	2,07	1,68
<b>Paranaguá</b>	7,5	4,8	2,09	1,70
<b>Antonina</b>	8,1	4,2	2,74	2,02

Para localização ver figura 1

As velocidades máximas das correntes de maré em superfície (Figura 5), nas bóias 3 e 4 são de 0,6 nós (32 cm/s) na enchente (direção 310°) e 1,6 nós (87 cm/s.) na vazante (direção 115°). Neste ponto pode ser observado um desvio entre as margens do canal e as direções de fluxo de maré (Figura 4), o que implica na obstrução parcial dos fluxos de maré vazante, pela margem NE do canal, enquanto que na margem oposta o mesmo ocorre no período de maré enchente.

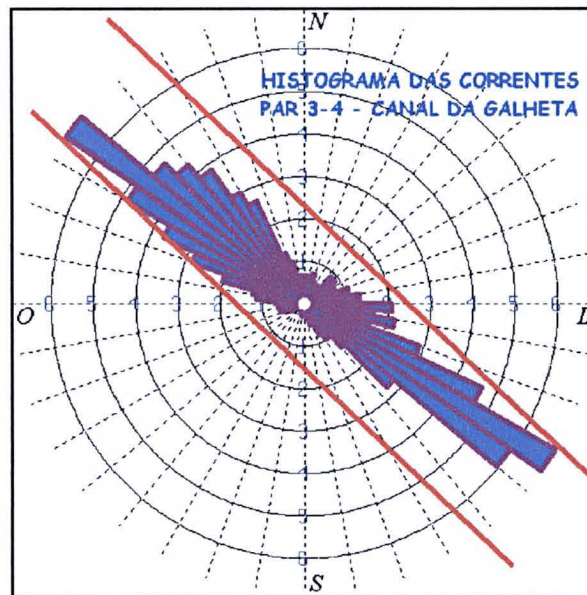
No setor interno do canal da Galheta as velocidades máximas de correntes de maré são de 1,1 nós (59 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 320°) e 1,8 nós (97 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 140°). As correntes, neste ponto do estuário estão direcionadas diretamente ao trecho autolimpante, afunilando o fluxo de marés entre as ilhas do Mel e da Galheta.

As medidas realizadas na Ponta do Poço mostram um aumento considerável das velocidades máximas de correntes de maré, chegando a 2,6 nós (141 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 270°) e 2,2 nós (119 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 75°). Neste ponto as correntes de maré executam um flexão em direção ao canal da Cottinga, concentrando o fluxo próximo à Ponta do Poço. No sentido contrário o fluxo flexiona-se em direção ao canal da Galheta, confluindo com este fluxo na mesma área.

As velocidades máximas de correntes de maré no canal Norte são de 1,1 nós (59 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 315°) e 1,3 nós (70 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 145°).

No Porto de Paranaguá as velocidades máximas de correntes de maré são de 1,3 nós (70 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 260°) e 1,5 nós (81 cm/s) nos períodos de maré vazante (direção 100°).

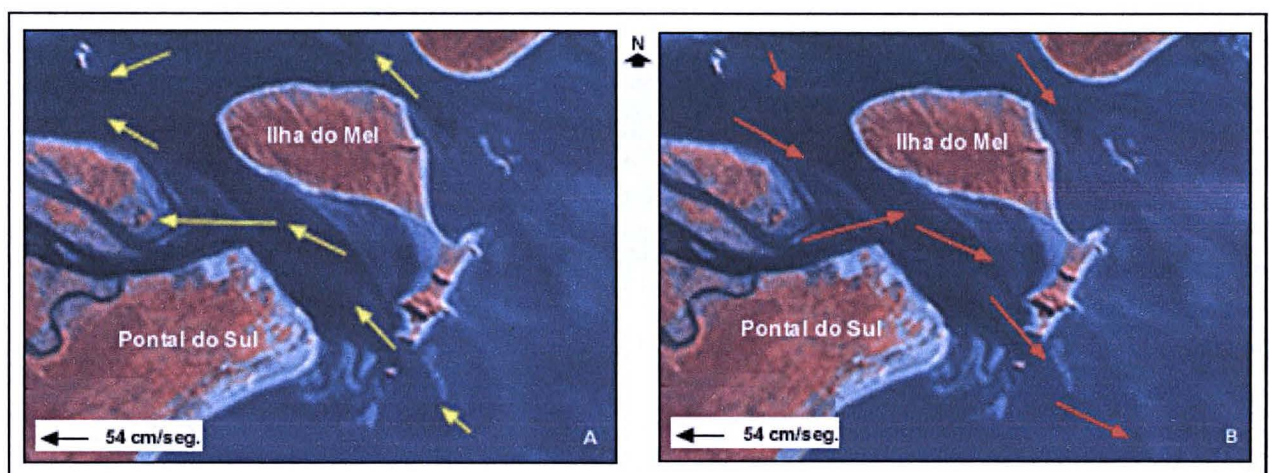




**Figura 4:** Histograma polar de distribuição das direções de corrente de superfície no canal da Galheta bóias 3-4. Em vermelho as margens do canal (Marone *et al.*, 1999).

No Porto de Antonina as velocidades máximas de correntes de maré são de 0,6 nós (32 cm/s) nos períodos de maré enchente (direção 320°) e 1,4 nós (76 cm/s) nos períodos de vazante (direção 140°).

O levantamento hidrodinâmico realizado no Saco do Limoeiro, revelou que as correntes de maré mais intensas (46 cm/s) ocorrem nos períodos de vazante com média de 31 cm/s. Nos períodos de maré enchente o valor máximo foi de 42 cm/s, com média de 26 cm/s. As direções de corrente indicam fluxos de enchente orientados num rumo médio de 350° e de vazante para 182° (Araújo *et al.*, 1999).



**Figura 5:** Vetores de correntes de maré enchente (A), e vazante (B) na baía de Paranaguá (modificada de Marone *et al.*, 1999).

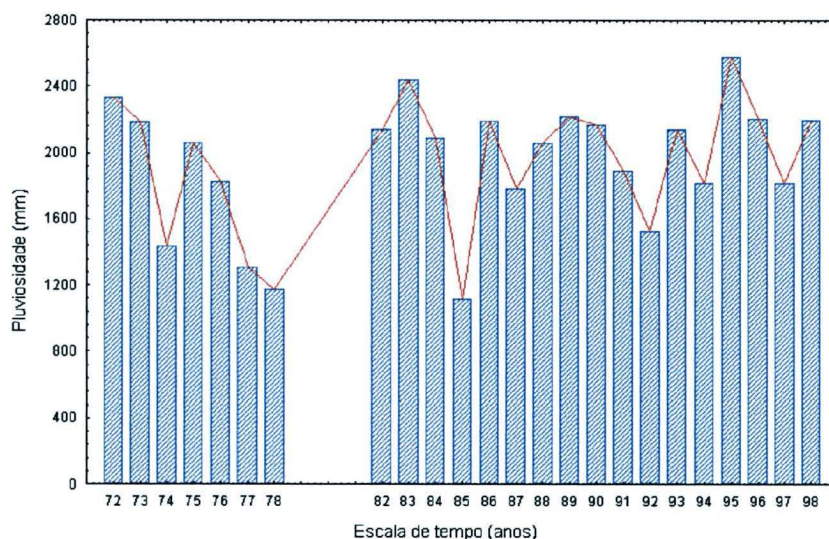
### 3.3 Clima

O clima na região da baía de Paranaguá é do tipo Cfa, na classificação de Köppen - C: clima pluvial temperado; f: sempre úmido, com chuva todos os meses do ano; a: temperatura média do mês mais quente acima de 22°C (LFM, 1999). Os meses de verão (fevereiro) são período mais chuvoso, enquanto que nos meses de inverno (julho e agosto) está o período mais seco.

A quantidade de chuva (média anual) é de 1988 mm (Figura 6), com décimos de céu encoberto (média anual) de 7/10, temperatura do ar (média anual) de 21°C, temperatura ambiente máxima de 34°C (fevereiro de 1994), temperatura ambiente mínima de 01°C (junho de 1994). A média das máximas é de 29°C, e a média das mínimas é de 18°C.

Os ventos predominantes são provenientes de Leste e Sudeste com velocidades máxima de 25 m/s (S - SSW), e média de 4 m/s e direções predominantes dos quadrantes SE/E/NE.

A umidade relativa do ar (média anual) é de 85 %, com média mensal máxima de 90 % média mensal mínima de 40 - 50%.



**Figura 6:** Pluviosidade do balneário Pontal do Sul entre os anos de 1972 e 1998. Os valores são referentes à somatória dos valores obtidos em leituras diárias de cada ano (Fonte dos dados: Laboratório de Oceanografia Física - CEM).

### 3.4 Sedimentos de Fundo da Baía de Paranaguá

Segundo Bigarella *et al.* (1978), os sedimentos de fundo da baía de Paranaguá são transportados e depositados principalmente pelas correntes de maré. O material arenoso encontra-se não só nos canais, como também na porção oriental do estuário. Os materiais mais grosseiros estão concentrados nos canais, devido ao fluxo de maré que impede a deposição de sedimentos finos em áreas de energia mais elevada.

Bigarella *et al.* (1978) constataram que, via de regra, os sedimentos tornam-se cada vez mais finos e menos selecionados para o interior da baía de Paranaguá.

Segundo Soares *et al.* (1996), a distribuição dos sedimentos de fundo nas baías de Paranaguá e Antonina permite compartimentar o estuário em 3 setores: a) uma porção superior, à montante do estuário (baía de Antonina), influenciada principalmente pela descarga dos rios, composta por sedimentos muito heterogêneos, observando-se uma mistura de sedimentos grosseiros e finos, muito mal selecionados sendo a porcentagem de finos maior do que nas demais porções do estuário; b) uma porção intermediária, com influência tanto fluvial como marinha, também formada por sedimentos mistos, mas cuja influência de finos é menor que na parte superior do estuário; c) uma porção inferior, próxima à desembocadura do estuário, formada por areias finas e muito finas, moderadamente selecionadas, influenciada por processos marinhos (Figura 1).

Os sedimentos de fundo da baía de Paranaguá consistem de uma mistura de material detrítico terrígeno e material biogênico produzido pelas associações vegetais (manguezais e marismas), que ocorrem nas margens e setores internos das gamboas da baía (Soares *et al.*, 1997).

Os teores de carbonato biodetrítico nos sedimentos de fundo da região são, de modo geral, baixos (Soares *et al.*, 1997), principalmente no setor mais a jusante do estuário onde estão concentradas as maiores porcentagens de material arenoso no estuário.

A baía das Laranjeiras constitui um sistema independente da baía de Paranaguá, quanto à dinâmica e ao aporte de sedimentos e exportação deste para a plataforma continental (Soares, 1990).

As variações dos parâmetros granulométricos indicam uma diferença na dinâmica sedimentar entre o trecho oriental da baía de Paranaguá e a porção



compreendida entre a Ilha do Mel e Pontal do Sul. Estas diferenças são decorrentes dos sedimentos finos terem origem fluvial, refletindo um ambiente de mais baixa energia, enquanto que os sedimentos grossos foram depositados em ambiente plataformar raso (Corrêa *et al.*, 1991).

## 4. Fundamentação Teórica

### 4.1 Geoestatística

O que se entende por geoestatística não é uma teoria nova ou alternativa, mas sim a reunião de conceitos e métodos estatísticos para o estudo da variabilidade espacial de fenômenos, quando as informações coletadas são georeferenciáveis e apresentam dependência espacial (Ribeiro Jr., 1995).

Dentre os diferentes métodos de interpolação pode-se citar: método poligonal, triangulação, médias locais das amostras e inverso do quadrado da distância (IQD). Os interpoladores são simples e de cálculo relativamente fácil, sendo suas principais limitações:

- poligonal - estimativas locais descontínuas;
- triangulação - não considera a anisotropia;
- média locais - sensível à concentração de valores e não considera a distância entre as amostras e o ponto a ser estimado;
- inverso do quadrado da distância (IQD) - não considera a anisotropia, não limita a vizinhança, não considera a configuração da vizinhança. Tem uma tendência a gerar “olho de boi”, padrões concêntricos ao redor dos pontos; e
- krigagem – um dos mais flexíveis métodos. É útil para interpolar quase todos os tipos de conjuntos de dados. O resultado praticamente independe do número de dados.

A anisotropia durante a confecção das malhas, indica uma direção de maior ou menor continuidade entre os pontos amostrais. A técnica de interpolação por krigagem dá maior peso para pontos locados ao longo de um eixo *versus* pontos locados ao longo de outro eixo. O peso relativo é definido pelo raio de anisotropia (Keckler, 1995).



Krigagem é o nome genérico para um grupo de técnicas de estimação que são baseadas em minimização da variância de erro (Ribeiro Jr.,1995). Segundo Journel (1988) a essência da geoestatística não reside na krigagem, mas sim em documentar a decisão de estacionaridade, escolher certos dados (transformados ou não) a serem utilizados, e inferir modelos de covariância.

A krigagem pondera os vizinhos (dependência espacial) do ponto a ser estimado obedecendo os critérios de não tendenciosidade e mínima variância. Existem diversos tipos de krigagem, podendo ser citadas: a simples, a ordinária, a universal, a indicadora, a probabilística, etc. (Almeida & Ribeiro Jr., 1996).

Os resultados obtidos por Hicks & Hume (1997), em cálculos de volume de areia no delta de Katikati (Nova Zelândia), demonstram que o inverso da distância, a triangulação e a krigagem (com interpolação linear) são métodos capazes de reproduzir as superfícies de fundo com boa fidelidade às condições reais de terreno, gerando volumes entre estas superfícies e o plano  $Z=0$  dentro de uma margem aceitável de erro.

Programas que produzem superfícies de contorno operam criando uma malha regular de pontos de controle, estimados de observações espaciais irregulares. A aparência e a fidelidade do mapa final é determinado pelo tamanho da célula e pelo algoritmo usado para estimar os valores dos nós da malha (Davis, 1986).

Segundo Ribeiro Jr. (1995) algum tipo de estacionaridade deve ser admitido, de forma a possibilitar a estimação de ao menos dois primeiros momentos da distribuição da variável aleatória, que em geral estão relacionados com as probabilidades de interesse (semivariância). Na abordagem geoestatística a medida normalmente utilizada é a semivariância, sendo esta uma medida de dissimilaridade, ou seja, é maior a medida em que as variáveis estão menos associadas.

A estimativa de semivariância é a medida de dispersão de uma nuvem de pontos. Um menor espalhamento indica maior associação e gera uma medida menor de semivariância (Ribeiro Jr., 1995). O modelo pode ser ajustado “a sentimento”, ou seja, é selecionado e ajustado de modo que se sobreponha da melhor maneira possível aos pontos do semivariograma estimado (Almeida & Ribeiro Jr.,1996).

Os modelos mais comumente disponíveis nos *softwares* e na literatura são: Gaussiano, Esférico, Exponencial e Linear.

O grau de continuidade espacial de uma variável regionalizada pode ser expresso pelo semivariograma, possibilitando a estimativa do valor da superfície

para locais não amostrados, a estimativa produzida é chamada de krigagem (Davis, 1986).

## 4.2 Formas de Leito

Ondas de areia (*sandwaves*) são abundantes em estuários dominados por marés (Dalrymple *et al.*, 1992), onde são largamente distribuídas em barras alongadas que ocorrem nas desembocaduras. São abundantes também em desembocaduras dominadas por ondas, estuários de planície costeira e rias. Desembocaduras de estuários mais abertas, apresentam ondas de areia desenvolvidas nas áreas onde os deltas de maré enchente ocorrem (Dalrymple & Rhodes, 1995).

A formação de uma forma de leito se dá através da presença de uma imperfeição do fundo, que causa perturbação no fluxo à jusante. A diminuição da razão de transporte à jusante, causa deposição e a geração de uma segunda imperfeição. A partir deste ponto o processo se repete, gerando um campo de dunas (Dalrymple & Rhodes, 1995).

Ashley (1990) propõem uma classificação descritiva para as formas de fundo (Tabela 3). Em uma primeira ordem de classificação são utilizados o tamanho (pequeno, médio, grande e muito grande) e a forma (bidimensionais e tridimensionais) da feição de fundo. Allen (1980, 1982; *apud* Dalrymple & Rhodes, 1995) argumenta que formas de fundo de grande porte são feições geradas por ondas, com correntes de maré substituindo o movimento oscilatório das ondas geradas por ventos. Para distinguir estas feições daquelas geradas por fluxos

Tabela 3: Classificação descritiva de dunas (modificado de Ashley, 1990)

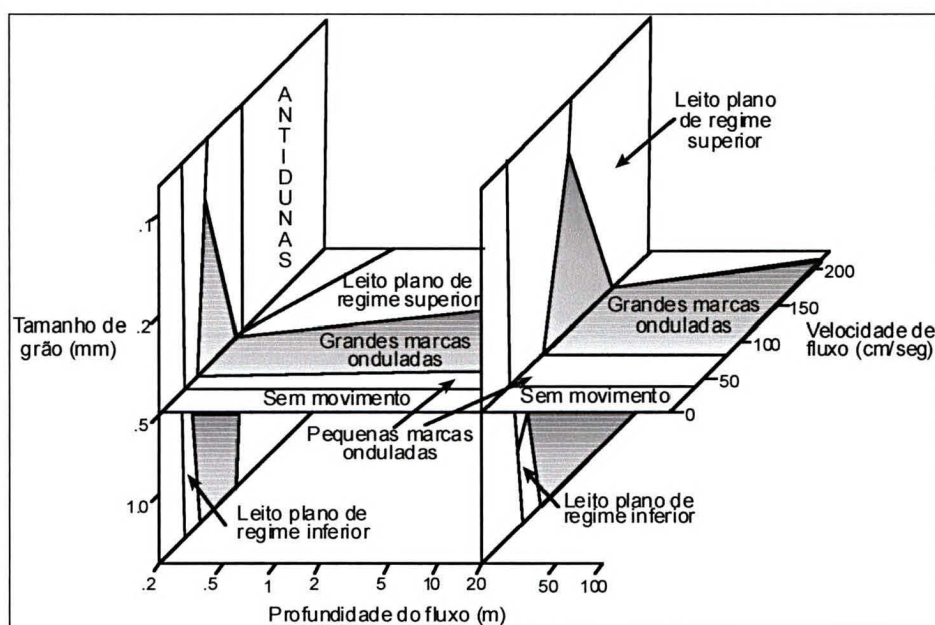
Tamanho	Termo	Pequena	Média	Grande	Muito Grande
	Espaçam. (m)	0,6 - 5	5 - 10	10 - 100	>100
	Altura (m)	0,05 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 3	>3
Forma	<b>Bidimensional</b> - cristas relativamente bem marcadas, faltando fosso de varredura. <b>Tridimensional</b> - de sinuosa à meia lua, com fosso de varredura.				

unidirecionais, Allen (1980, 1982; *apud* Dalrymple & Rhodes, 1995), defende o termo ondas de areia (*sandwaves*) para formas de fundo grandes (Dalrymple & Rhodes, 1995).

Segundo Dalrymple *et al.* (1990), em termos gerais, ondas de areia podem se formar em qualquer granulometria mais grossa que 0,13 mm (2,9 Phi; próximo ao limite mínimo da areia fina). A mínima velocidade de corrente na qual as ondas arenosas ocorrem depende da profundidade e do tamanho de grão, mas é tipicamente de 0,5 m/s, aumentando com a profundidade e o tamanho de grão (Dalrymple *et al.*, 1990).

Para diâmetros de grão maiores que 0,8 mm ( $\phi$  0,25; próximo ao limite superior da areia grossa), pequenas formas onduladas não se formam. No início do transporte sedimentar, formam-se estruturas plano paralelas, passando diretamente para grandes formas onduladas. As formas de leito não se desenvolvem em sedimentos mais finos, menores que 0,15 mm ( $\phi$  2,75; areia fina) (Fritz & Moore, 1988).

Rubin & McCulloch (1980) combinaram as observações feitas para ondas de areia (grandes marcas onduladas), na baía de São Francisco, com outros dados de diversos autores e desenvolveram um diagrama que cobre muitas situações no ambiente natural, onde a areia é transportada (Figura 7).



**Figura 7:** Diagrama tridimensional relacionando profundidade, velocidade de fluxo e tamanho de grão com os campos de regime de fluxo (Rubin & McCulloch, 1980).

Estudos desenvolvidos por Boothroyd e Hubbard (1975; *apud* Hayes, 1980), indicam que o tipo de forma de fundo é regido por: (a) máximo das velocidades de correntes de enchente; (b) assimetria na velocidade (diferença de máximo de velocidade de correntes de enchente e de vazante); e (c) velocidade de duração de um fluxo sobre uma dada velocidade.

Entende-se como conceito de regime de fluxo, um tipo particular de fluxo que molda o fundo dentro de uma configuração específica, sendo controlado por três fatores: profundidade, velocidade de fluxo e tamanho de grão (Fritz & Moore, 1988).

Conforme Southard (1975; *apud* Rubin & McCulloch, 1980), a transição de ondas arenosas para acamamento plano paralelo de regime de fluxo superior, é acompanhado pelo decréscimo da velocidade de cisalhamento, causada pelo decréscimo na rugosidade.

Yalin (1964, 1977 e 1987; *apud* Dalrymple & Rhodes, 1995) usando uma combinação de teoria científica e observações empíricas, sugere que o comprimento de onda deve ser aproximadamente 6 vezes a profundidade, enquanto que a altura desta deve ser de aproximadamente 17 % da profundidade.

Allen (1982; *apud* Dalrymple & Rhodes, 1995), sugere que a diminuição da altura da duna em relação à diminuição da granulometria dos sedimentos é feita pela relativa proporção de movimento de sedimentos, a altura da duna diminui com o aumento do material em suspensão.

Em muitos estuários o confinamento das correntes de maré pelos bancos do canal produz um fluxo retilíneo. Sendo assim a maioria das cristas das ondas de areia (*sandwaves*) devem ser aproximadamente transversais às correntes de enchente e vazante, o mesmo podendo ser dito em relação ao transporte residual. Entretanto, canais curvos, irregularidades da linha de costa e cristas de barras podem produzir situações específicas, onde o ângulo de divergência é menor que 180°. Neste caso formas de fundo longitudinais ou oblíquas se formarão, e a exata orientação depende da razão de transporte (Dalrymple & Rhodes, 1995).

#### **4.3 Deltas de Maré**

Segundo Hayes (1975), deltas de maré ocorrem em costas com regimes de micro à mesomaré (de 0 – 2 m e 2 – 4 m, respectivamente), associados a entradas

de estuários ou lagunas formadas por ilhas barreiras. Geralmente ocorrem dois deltas em associação, um em direção ao mar, o delta de maré vazante, e outro em direção ao estuário, o delta de maré enchente. Em costas com regime de micromarés, os deltas de maré enchente possuem uma tendência a serem mais desenvolvidos do que os de maré vazante. Em costas com regime de mesomarés a tendência é oposta. Nas regiões onde há significativa energia de ondas, a tendência é de inibição do desenvolvimento dos deltas de maré vazante e acentuação dos de maré enchente (Hayes, 1975).

No litoral paranaense, podem ser classificados como deltas de maré vazante as seguintes áreas: a entrada do Mar da Ararapira, a desembocadura do canal do Superaguí, a desembocadura da baía de Guaratuba e as desembocaduras da baía de Paranaguá (Angulo, 1992 e 1999).

Nos modelos clássicos de Hayes (1975), o corpo lagunar desenvolve seu eixo maior paralelo à costa. Os complexos estuarinos do litoral paranaense, apresentam eixo principal transversal à costa. Assim, na parte interna da desembocadura não existe configuração apropriada ao desenvolvimento dos deltas de maré enchente, pois as correntes de maré enchente e vazante circulam aproximadamente na mesma área, exceto quando existe um alargamento do corpo d'água na parte interna da desembocadura, como na desembocadura sul da baía de Paranaguá (Angulo, 1999).

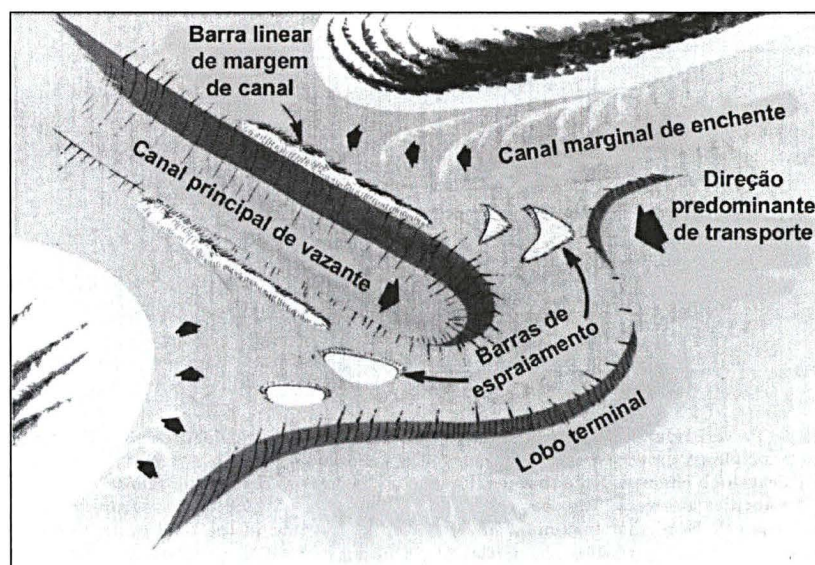
A morfologia de um delta de maré vazante é uma função da interação entre as correntes de maré e as ondas. O fenômeno chamado assimetria de velocidade das correntes de maré, descrito por Postma (1967; *apud* Hayes, 1980), assume importância fundamental. É de crucial importância o fato que o máximo das correntes de vazante ocorrem tardiamente no ciclo de marés, próximo à maré baixa. Isto significa que na maré baixa, como há inversão da direção das correntes, fortes fluxos ainda estão fluindo no sentido de jusante no canal principal de vazante. Como o nível da água sobe, as correntes de enchente procuram uma via com menor resistência nas imediações do delta. Isto cria uma segregação entre as correntes de enchente e vazante nos canais de maré (Hayes, 1980).

Potencialmente os parâmetros que controlam o tamanho e a forma de um delta de maré vazante incluem o valor do prisma de maré, que depende por sua vez, da área do estuário, da amplitude da maré, da largura, da área de seção e da profundidade média da desembocadura, da energia das ondas, da razão de



declividade do litoral, do ângulo das correntes de vazante, da inclinação das praias, da média granulométrica dos sedimentos e da quantidade de água doce na desembocadura (Hicks & Hume, 1996).

Os principais componentes de um delta de maré vazante, segundo Hayes (1980) são (Figura 8): a) canal principal de vazante, o qual mostra comumente uma dominância de fraca para forte das correntes de vazante sobre as correntes de enchente; b) barras lineares marginais do canal principal de maré vazante, as quais são como depósitos em dique, construídos pela interação entre as correntes de vazante e enchente com as correntes geradas por ondas; c) lobo terminal, inclinado em direção ao mar, localizado no final do canal principal como um degrau; d) plataforma de espraçamento, amplas lâminas de areia flanqueando ambos os lados do canal principal; e) barras de espraçamento isoladas, construídas pela ação de espraçamento das ondas que ocorre nas plataformas de espraçamento, e f) canais marginais de enchente, dominados pelas correntes de enchente ocorrendo normalmente entre a plataforma de espraçamento e as praias adjacentes.



**Figura 8:** Modelo morfológico geral de delta de maré vazante em costas com mesomarés com influência combinada de ondas e correntes (Hayes, 1980)

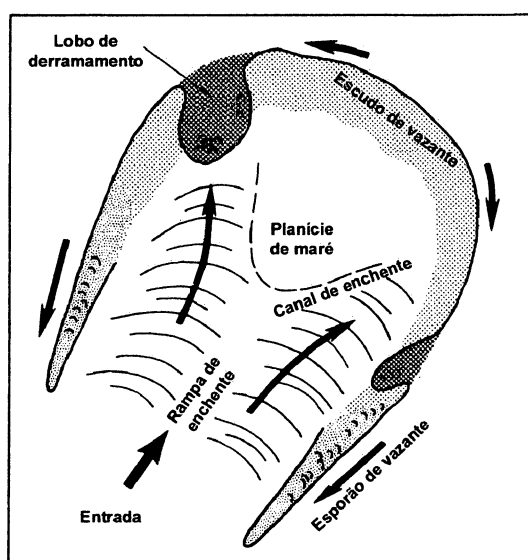
Um modelo morfológico típico de delta de maré enchente é descrito por Hayes (1980) como (Figura 9): a) rampa de enchente, com a face de inclinação voltada para a direção da corrente de enchente e sempre coberto por dunas de areia orientadas pela corrente de enchente; b) canais de enchente, dominados pelas correntes de enchente que bifurcam no final da rampa de enchente; c) escudo de

vazante, topograficamente com bordas altas ou margens no entorno do delta de maré que o protegem contra modificações causadas pelas correntes de vazante; d) esporões de vazante, esporões formados pelas correntes de vazante, e e) lobos de derramamento, por definição são corpos em forma de lobo formados pelas correntes de fluxo unidirecional.

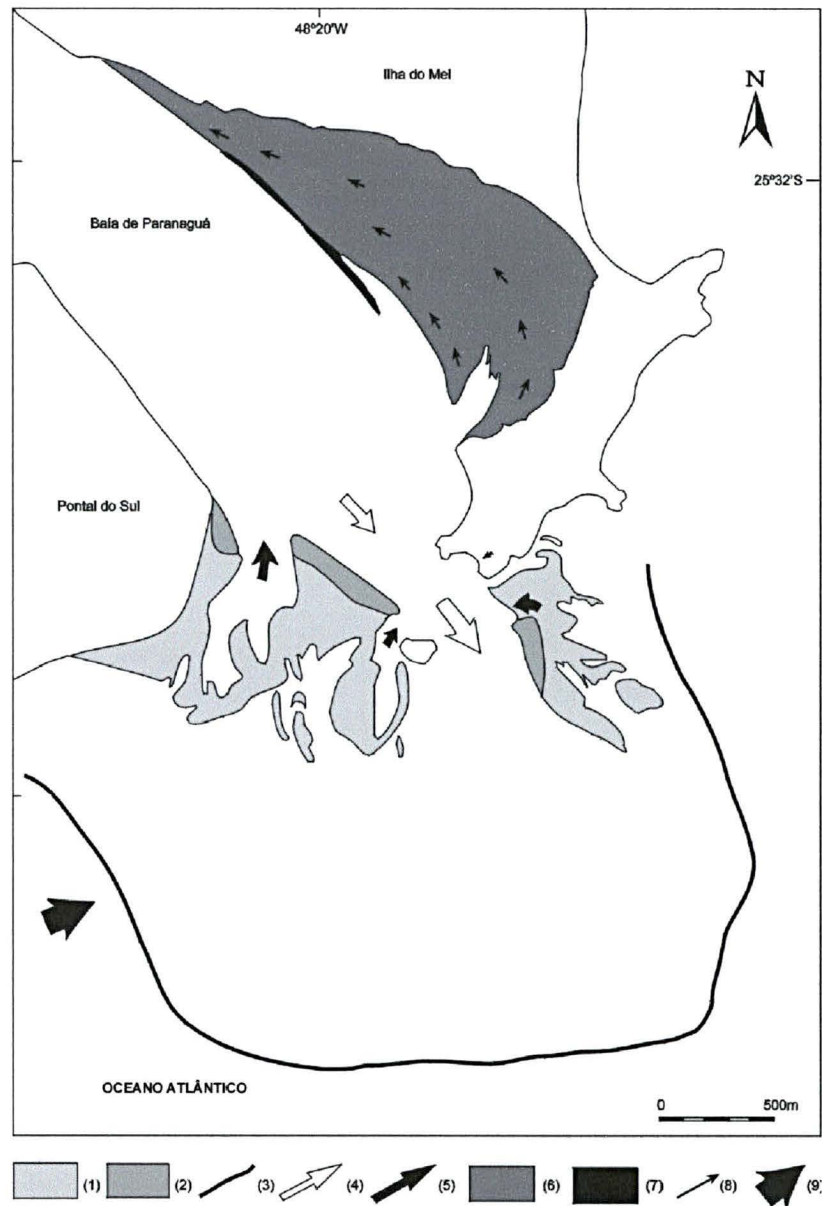
Angulo (1999) identifica na desembocadura sul da baía de Paranaguá (Figura 10) o lobo terminal, as barras de espraio, o canal marginal de enchente, o canal principal de vazante, e a barra linear marginal ao canal, descritas no modelo de delta de maré vazante de Hayes (1980). O mesmo autor ainda identifica no Saco do Limoeiro a rampa de enchente, e o esporão de vazante, descritos por Hayes (1980).

Nas fotos aéreas de 1980 é possível a visualização de um complexo de barras conhecidas como Banco da Galheta, com barras em pontal recurvadas, dunas de areia (*sandwaves*) e dunas subaquosas (Angulo, 1999). Segundo o mesmo autor algumas destas barras permaneceram emersas no período compreendido entre 1989 e 1992.

Ainda segundo Angulo (1999), é possível notar-se nas fotografias aéreas de 1954, a presença de esporões arenosos crescendo para o interior do estuário entre o balneário Pontal do Sul e a Ponta do Poço, mostrando a eficiência da corrente de deriva litorânea nesta direção.



**Figura 9:** Modelo de delta de maré enchente mostrando os principais componentes morfológicos (Hayes, 1980).



**Figura 10:** Deltas de maré na desembocadura sul da baía de Paranaguá. Delta de maré vazante: (1) barras de espraio; (2) barra linear de margem de canal; (3) lobo terminal; (4) canal principal de vazante; e (5) canal marginal de enchente. Delta de maré enchente: (6) rampa de enchente; (7) esporão de vazante; (8) direção preferencial inferida, de migração de formas de fundo; e (9) direção inferida de deriva litorânea (Angulo, 1999).



## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Trabalhos de Campo

#### 5.1.1 Amostragem de Sedimentos

Para o mapeamento das distribuições texturais dos sedimentos foram utilizadas 143 amostras sendo 74 coletadas entre 1998 e 1999, somadas a 69 amostras coletadas pelo LOGEO, desde 1995. O conjunto total das amostras distribui-se em toda a área de interesse (Figura 11).

A coleta de amostras para este trabalho foram feitas em 17/06, 03/09 e 04/09 de 1998 e 19/01, 26/01 e 29/01 de 1999, de acordo com a disponibilidade de embarcações e também com as condições meteorológicas, que permitissem uma navegação segura, principalmente no setor externo (Tabela I.1).

No setor externo foram coletadas 27 amostras neste trabalho, somadas às 10 amostras coletadas pelo LOGEO. As amostras mais a jusante do estuário estão limitadas a uma faixa de 400 m de largura, sempre nas imediações das bóias luminosas que balizam o canal.

Das 106 amostras coletadas no setor interno, 46 foram coletadas durante a realização deste trabalho e 60 durante outros trabalhos do LOGEO. As amostras referentes a este trabalho estão concentradas na área do canal propriamente dito, enquanto o restante das amostras está distribuído nas áreas adjacentes.

Além do canal, foram também coletadas amostras na praia do balneário Pontal do Sul, voltada para o setor SE, ou seja, assim mais exposta a ação de ondas geradas por frentes frias. Os pontos amostrais estão distribuídos ao longo da praia, com as coordenadas de cada um deles determinadas em campo com o auxílio do GPS (Tabela 4) (Figura 11).

As amostras utilizadas na comparação dos perfis longitudinais fazem parte das coletadas neste trabalho, enquanto que os mapas de parâmetros sedimentares levam em conta todo o conjunto de amostras. Para os perfis foram utilizadas 54 amostras distribuídas em 19 perfis transversais (Figura 11) ao longo do canal, as quais estão localizadas ou no eixo do canal ou em suas margens.

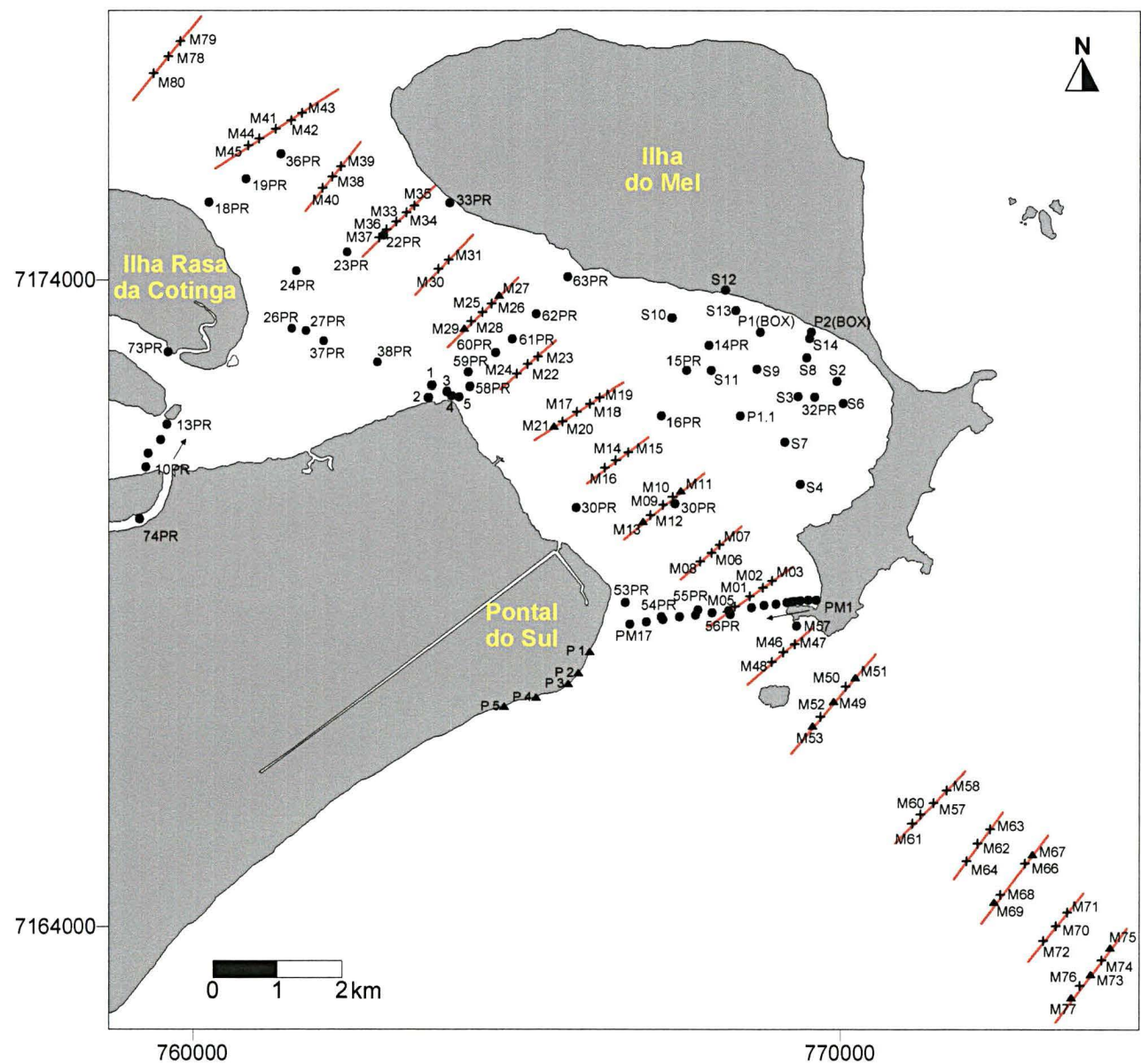


Figura 11: Mapa de pontos das amostras coletadas. (+) Amostras coletadas entre 1998 e 1999; (●) amostras coletadas pelo LOGEO; e (▲) amostras com o teor de minerais pesados identificados e quantificados.

**Tabela 4:** Coordenadas UTM dos pontos iniciais dos perfis praias do balneário Pontal do Sul.

<b>Perfis</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<b>P1</b>	7.167.224	764.844
<b>P2</b>	7.167.428	765.338
<b>P3</b>	7.167.684	765.873
<b>P4</b>	7.167.807	766.108
<b>P5</b>	7.168.046	766.411

Para localização ver figura 11.

O planejamento das estações de amostragem, para sedimentos de fundo foi feito através da carta náutica n.º 1824 (DHN, 1995) digitalizada, onde foram arbitrados transectos alternados de três e cinco amostras cada, dispostos transversalmente ao sentido longitudinal do canal, distantes aproximadamente 1 km uns dos outros. As amostras coletadas em cada transecto distanciam-se entre si 100 m (Figura 11). Em campo, a localização dos pontos foi feita com o auxílio de um equipamento GPS (Global Positioning System) Reliance (*Ashtech*) em módulo diferencial, o qual possui precisão sub-métrica a decimétrica.

As coordenadas utilizadas estão na projeção UTM (Universal Transversal de Mercator) hemisfério sul, meridiano central -51°, datum horizontal WGS-84. Datum horizontal é um ponto de coordenadas conhecidas (latitude e longitude geodésicas), um azimute de partida (conhecido) e os valores da componente do desvio da vertical conhecidos.

Para as coletas de sedimentos de fundo foram utilizadas dois tipos de dragas busca-fundo. Para os sedimentos coletados pelo LOGEO, em 1995, utilizou-se uma draga do tipo *Van Veen*, enquanto que para as amostragens realizadas durante os anos de 1998 e 1999, utilizou-se uma draga tipo *Petit Ponar* (Tabela 5). Amostrou-se aproximadamente 10 centímetros de espessura da camada superficial do substrato sedimentar da área de estudo, de onde foram tiradas aproximadamente 200 gramas de sedimento para posterior tratamento em laboratório.

**Tabela 5:** Características das dragas busca-fundo utilizadas na aquisição de amostras.

<b>Tipo de busca-fundo</b>	<b>área amostral (m<sup>2</sup>)</b>	<b>volume total (dm<sup>3</sup>)</b>
<b>Van Veen</b>	0,05	5
<b>Petit Ponar</b>	0,023	2,37

## 5.2 Trabalhos de Laboratório

### 5.2.1 Processamento das Amostras

Após secagem em estufa à temperatura de 60°C as amostras foram pesadas, e elutriadas para eliminação de sedimentos finos, sendo então novamente secadas e pesadas. Massas aleatórias iniciais de 50 gramas foram peneiradas mecanicamente em *rot-up* por aproximadamente 15 minutos. As peneiras utilizadas para tal tarefa tiveram o intervalo de 0,25 Ø, desde 4 Ø até -1,75 Ø (0,062 mm até 4 mm, respectivamente). As frações separadas em cada peneira, foram pesadas em balança de precisão até a terceira casa decimal.

Aproximadamente 10 gramas de sedimento, foram retirados da amostra original para quantificação de carbonato de cálcio. Neste processo o sedimento foi secado em estufa, colocado em um béquer e pesado. Em seguida adicionou-se ácido clorídrico com 10% de concentração, reagindo (diluindo) por aproximadamente 15 minutos. O ácido foi removido com água quente ( $\cong 90^{\circ}\text{C}$ ) e a amostra submetida à nova secagem. Pesou-se novamente o recipiente com o sedimento e, pela diferença de massas, obteve-se a quantidade média de carbonato presente na amostra.

Segundo Duck (1986) as maiores concentrações de matéria orgânica estão geralmente associadas com material fino (lama), o qual tem tendência a ocupar profundidades maiores com baixa energia. Sendo assim, as análises de matéria orgânica foram realizadas apenas nas 69 amostras coletadas pelo LOGEO pois, em sua grande maioria encontram-se em áreas protegidas do estuário onde há uma porcentagem maior de sedimentos finos.

É procedimento do laboratório de sedimentologia do CEM, não realizar tais análises, em sedimento com teores altos de areia (>95%), onde a matéria orgânica é elutriada. A somatória destes fatores resultou na não realização das análises de teores de matéria orgânica nas amostras recentes do canal.

### 5.2.2 Análise de Granulometria

Os dados em peso de cada uma das classes amostrais, após peneiramento, foram analisados no *software* Sysgran 2.4 (Camargo, 1999), o qual gerou os parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, curtose, assimetria) pelo Método dos Momentos (Tanner, 1995). O sistema de escalas granulométricas adotado foi o Wentworth (1922).

### 5.2.3 Minerais Pesados

Com o intuito de analisar os minerais pesados foram escolhidas 18 amostras, sendo 5 no setor interno, 8 no setor externo e 5 nas praias do balneário Pontal do Sul (Figura 9). Na separação dos pesados foi utilizada a fração meio Phi mais fina que a moda (Gianinni, 1993).

Para a separação dos minerais pesados foi seguido o método descrito por Carver (1971), onde em funis apropriados submeteu-se a amostra a bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ), com densidade  $2,89 \text{ g/cm}^3$ . Procedeu-se então a lavagem da amostra com álcool doméstico, seguida de secagem em temperatura ambiente, em capela de exaustão.

Os minerais leves foram pesados em balança de precisão até a segunda casa decimal, para a quantificação do teor de minerais pesados contidos na amostra. Em sequência foram retirados os minerais magnéticos, com um ímã envolto em plástico (Gianinni, 1993). Com os minerais pesados procedeu-se a confecção das lâminas para contagem e identificação dos grãos em microscópio.

A contagem e identificação dos grãos foi feita ao longo de linhas aleatórias, desenhadas na lâmina, até se atingir 100 minerais transparentes, não micáceos.

## 5.3 Comparação Batimétrica

Os dados batimétricos estão concentrados em duas áreas preferenciais do canal, onde a APPA constata maiores problemas relacionados com o assoreamento. Sendo assim, foram definidas duas áreas, uma externa e outra interna à baía, onde existe sobreposição de informações.

As superfícies batimétricas foram geradas através do *software Surfer* (Golden), de duas maneiras distintas: a) através das planilhas digitais contendo longitude, latitude e profundidade, repassadas ao CEM pela DHN e pela empresa ISOBÁTICA – Serviços Marítimos Ltda. Estes dados referem-se às quatro últimas campanhas de sondagem batimétricas realizadas no canal da Galheta, duas em 1997 (julho e agosto) (Figura I.9) e duas em 1998 (setembro e outubro) (Figuras I.10 e I.11); b) nas folhas de bordo (georreferenciadas) disponíveis (Tabela 6) foram arbitrados sucessivos transectos topográficos transversais ao sentido do canal (eixo longitudinal), espaçados 50 m entre si, entre os pares de bóias 1/2 e 19/20. Este método de extração das informações batimétricas foi realizado nas cartas de 1975, 1978, 1983, 1984, 1991, 1993 e 1994 (Figuras I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, I.6, I.7 e I.8).

Os dados de batimetria dos levantamentos de 1972 e 1998, foram complementados com os dados das cartas náuticas, para a confecção dos mapas batimétricos gerais.

As folhas de bordo fazem parte das articulações das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), 1820 (BRASIL, 1976), 1822 (BRASIL, 1991), e 1824 (BRASIL, 1995).

Segundo Hicks & Hume (1997), as batimetrias realizadas com linhas normais à costa, espaçadas de 100 m, foram suficientemente precisas para estabelecer mudanças no nível médio de base ( $\cong 4$  mm) sobre uma simples topografia das imediações de um delta. No canal e na barra na plataforma do delta de maré vazante a precisão diminui para 54 mm.

Neste trabalho foi utilizada uma malha, com espaçamento de 20 m, tendo sido este o maior intervalo horizontal entre os pontos de batimetria.

**Tabela 6:** Relação das folhas de bordo utilizadas neste trabalho.

<b>Data da batimetria</b>	<b>Nº da folha de bordo</b>	<b>Escala</b>	<b>Datum horizontal</b>	<b>Executor</b>
Maio de 1972	1820-B12/72	1:5.000	X*	ENCAL
Maio de 1972	1820-B11/72	1:5.000	X*	ENCAL
Junho de 1972	1820-B10/72	1:5.000	X*	ENCAL
Dezembro de 1975	1822-1398	1:5.000	X*	CBD
Dezembro de 1975	1822-1397	1:5.000	X*	CBD
Dezembro de 1975	1822-1396	1:5.000	X*	CBD
Dezembro de 1975	1822-1395	1:5.000	X*	CBD
Agosto de 1978	1822-1643	1:5.000	X*	CBD
Janeiro de 1983	1822-1946	1:5.000	Itajubá	CBD
Junho de 1984	1822-2043	1:5.000	Itajubá	CBD
Junho de 1984	1822-2044	1:5.000	Itajubá	CBD
Julho de 1991	1823-2506	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Abril de 1993	1822-2558	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Abril de 1993	1822-2559	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Julho de 1993	1822-2570	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Dezembro de 1993	1822-2581	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Março de 1994	1822-2588	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Março de 1994	1822-2586	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Junho de 1994	1822-2594	1:5.000	Itajubá	DOCAS
Julho de 1997	1824-001/97	1:5.000	WGS-84	DHN
Outubro de 1997	1824	1:5.000	WGS-84	ISOBÁTICA
Abril de 1998	1824	1:5.000	WGS-84	DHN
Setembro de 1998	1824	1:5.000	WGS-84	DHN

X\* - Datum horizontal não especificado

## 5.4 Cálculo dos Volumes

O *software Surfer* permite determinar os volumes através de três métodos distintos (Trapezoidal, Simpson, 3/8 de Simpson). A comparação dos volumes obtidos entre os três métodos, propicia uma medida de acuracidade. Se os três cálculos de volume forem compatíveis, com diferenças máximas de até 5% entre si, o volume verdadeiro é entendido como o mais próximo dos três resultados (Keckler, 1995). Uma superfície de fundo altamente irregular pode gerar incompatibilidades acima de 5% entre os valores obtidos, de forma que o método 3/8 de Simpson considera fatores de curvatura de terreno que os demais não consideram. Neste trabalho foram considerados os valores médios entre os três métodos.

### 5.4.1 Métodos de Interpolação

#### a) Trapezoidal

Pode ser entendido como o método clássico de integração simples, porém neste caso como são três variáveis (X, Y e Z), ocorre uma integração dupla cujo intuito é considerar cada ponto onde se tem informação.

Qualquer área de qualquer feição representada em um dado polígono, pode ser representada pela construção de trapézios, de cada segmento de linha que delineia o polígono (Chou, 1997). Os polígonos neste caso são entidades tridimensionais (paralelepípedos) com base e topo retilíneos, que não consideram a curvatura do terreno. A área do polígono é definida pela soma de todos os trapézios, gerados a partir da intersecção de linhas verticais, provindas dos nós existentes entre cada segmento de reta que margeia o polígono. Cada nó dá início e fim a cada segmento de reta que delineia um polígono.

#### b) Simpson

Trata-se de um método de cálculo numérico, no qual o volume é calculado da mesma forma que no Método Trapezoidal. Porém, a base e o topo das figuras geométricas (paralelepípedos) têm uma curvatura proporcional (côncava ou convexa) teórica do terreno.



Os pontos que geram a função matemática são agrupados três a três, suavizando o “relevo” entre estes pontos, de forma que as funções decorrentes têm maior compatibilidade com a realidade.

### **c) 3/8 de Simpson**

Da mesma forma que no Método de Simpson, os volumes são calculados através de figuras geométricas (paralelepípedos), considerando uma curvatura teórica na base e no topo deste, porém o processo de integração ocorre com uma junção entre os métodos de Simpson e de Newton.

Levando-se em conta a afirmação acima, subentende-se que este método tem um maior poder de determinar os valores de volumes. Pode-se entender que este método é um refinamento do Método de Simpson.

### **5.4.2 Cálculo dos volumes**

O cálculo dos volumes em cada batimetria, foi feito a partir da quantificação do volume de água contido sobre uma determinada superfície, em relação a um nível do mar relativo (“volume vazio”), representado por  $Z = 0$ , determinado para cada levantamento batimétrico pela DHN. Para o cálculo dos volumes estes níveis de redução foram considerados constantes. A subtração do volume de água obtido para cada superfície, pelo da superfície posterior, não necessariamente do ano conseqüente, com áreas em planta constantes, resultam no volume de sedimentos que foram retirados ou depositados do canal.

Os volumes vazios de cada superfície foram determinados pela média entre os valores obtidos, pelos três métodos de cálculo.

As taxas de variação volumétrica foram determinadas através da divisão dos volumes vazios pelos intervalos de tempo entre os levantamentos batimétricos. A escala de tempo utilizada foi a mensal, levando-se em conta que há levantamentos confiáveis nesta escala.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Descrição dos Sedimentos**

Com base nas dragagens, o canal da Galheta foi dividido em três setores denominados interno, autolimpante e externo. O setor interno, estende-se entre os pares de bóias 09/10 e 19/20. Entre os pares de bóias 7/8 e 9/10, localiza-se o setor autolimpante, que nunca teve a necessidade de ser dragado. Entre os pares de bóias 01/02 e 07/08 localiza-se o setor externo (Figura 2). Na tentativa de constatação das diferenças sedimentares impostas pelas dragagens, convencionou-se também, uma divisão longitudinal ao canal de forma a subdividi-lo em três linhas denominadas de eixo central e margens direita e esquerda.

#### **6.1.1 Parâmetros Estatísticos**

##### **6.1.1.1 Diâmetro médio**

O diâmetro médio dos sedimentos de fundo no canal da Galheta está predominantemente na classe areia fina, com variação para areia muito fina nas amostras mais internas do canal (Figura 12). Observa-se a classe areia muito fina na porção SE da Ilha Rasa da Cotinha e Ponta do Poço, nas porções mais internas do estuário como próximo às bóias 19 e 20, em pontos específicos do Saco do Limoeiro e no trecho mais externo do canal.

A classe areia média ocupa área restrita, apresentando-se no setor interno, nas proximidades do setor autolimpante, e em dois pontos do eixo central do canal, na área externa (pontos M62 e M57, Figura 11). Apenas uma amostra (ponto S14, Figura 11) no Saco do Limoeiro, apresentou esta classe granulométrica, em função do alto teor de fragmentos carbonáticos.

Os perfis longitudinais realizados sobre o canal mostram que no eixo central 72,2% das amostras são constituídas de areia fina, 16,6% de areia muito fina, 5,5% de areia média e 5,5% de areia grossa. Na margem direita do canal 94,4% das amostras são de areia fina e 5,5% de areia média. Na margem esquerda 83,3% das

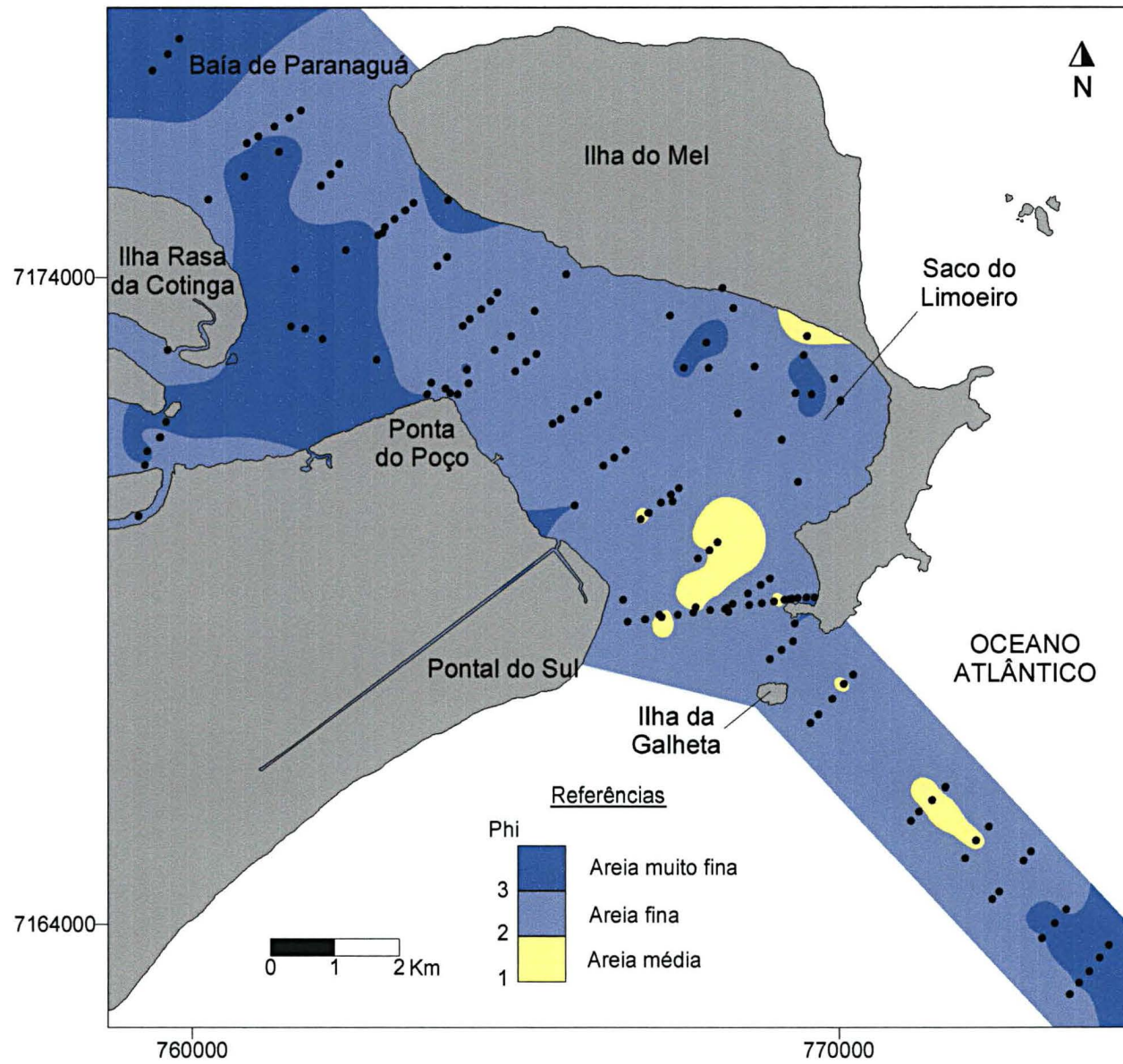
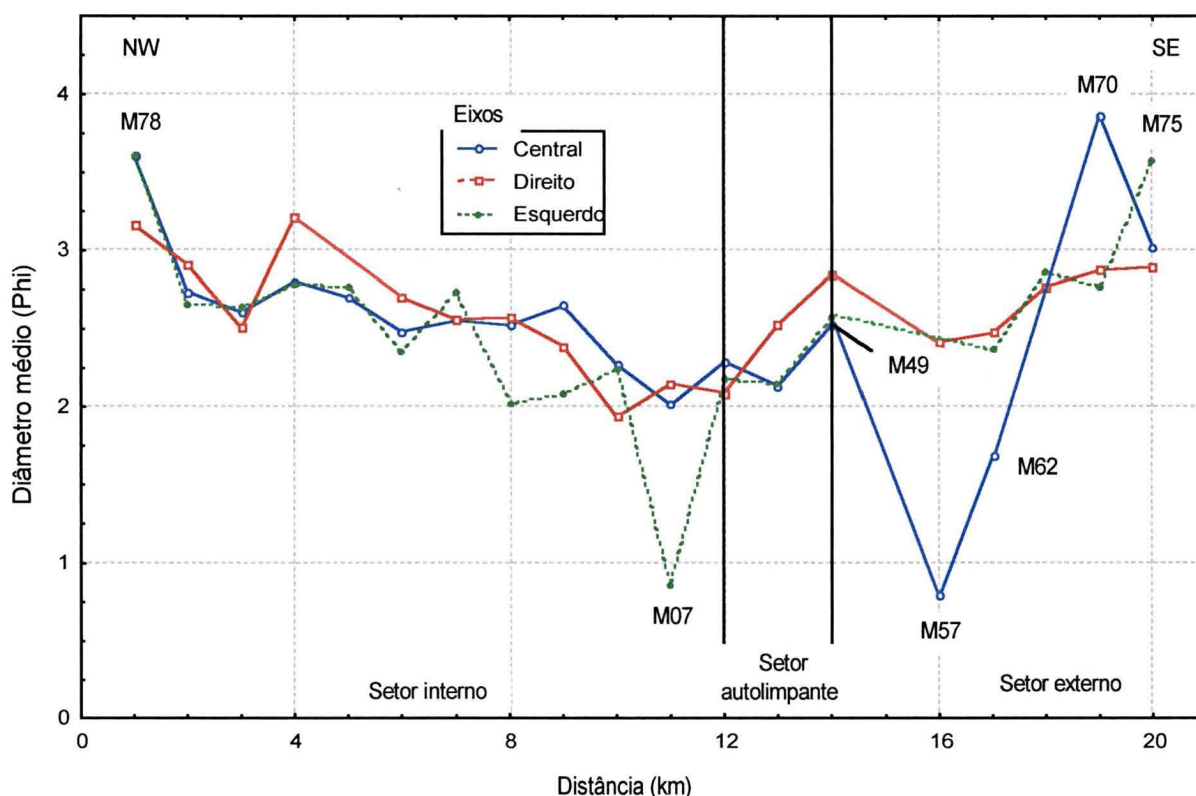


Figura 12: Distribuição dos valores de diâmetro médio, no canal da Galheta e adjacências.

amostras são de areia fina, 11,1% de areia muito fina e 5,5% de areia grossa. A variação de granulometria ocorre no eixo central do canal, onde a partir da Ilha da Galheta as amostras variam de areia fina (ponto M49), para areia média (ponto M57), e para jusante passam para areia muito fina (pontos M70 e M75, Figura 13).

O ponto M57 apresenta abundância de carbonato biodetrítico (fragmentos de conchas) resultando na alteração dos resultados das análises granulométricas pois, os fragmentos foram tratados como fragmentos minerais, assim como na amostra do Saco do Limoeiro.

No setor interno do canal observa-se um aumento do diâmetro médio dos sedimentos, mantendo-se dentro dos limites da areia fina (Figura 13). A partir do setor autolimpante há uma inversão no padrão, onde os diâmetros médios das margens, mantém-se ainda dentro dos limites da areia fina, porém diminuindo a granulometria para jusante do canal. No eixo central após o setor autolimpante o diâmetro médio passa de areia fina para areia média, e nos pontos mais a SE do canal, para areia muito fina (ponto M70, Figura 13).



**Figura 13:** Variação dos valores de diâmetro médio dos sedimentos de fundo ao longo da canal da Galheta.

#### **6.1.1.2 Grau de seleção**

No setor interno o grau de seleção aumenta das margens para o eixo central do canal de forma que nas porções mais internas do estuário, os sedimentos apresentam-se pobremente selecionados gradando para muito bem selecionado, em alguns pontos do canal (Figura 14). Na ilha Rasa da Cotinga há um ponto com classificação de muito pobremente selecionado, estando localizado na desembocadura da gamboa do Sucuriú. No Saco do Limoeiro os sedimentos gradam de muito bem selecionados para pobremente selecionados no sentido SE-NW.

No setor externo a seleção dos sedimentos diminui das margens para o canal, de forma que as amostras do canal apresentam-se de pobremente à moderadamente selecionadas (Figura 14). Ainda no mesmo setor, as pobremente selecionadas estão localizadas nos pontos mais distais (Figura 14).

Do setor interno para o setor externo há uma inversão do padrão de gradação do grau de seleção dos sedimentos das margens em relação ao canal. Enquanto a seleção melhora em direção ao canal, no setor interno, o setor externo apresenta a tendência inversa.

No eixo central do canal as amostras apresentam-se, em sua grande maioria bem selecionadas, diminuindo o grau de seleção para jusante (Figura 15). Na margem direita 72,2% das amostras apresentam-se bem selecionadas e 27,7% mal selecionadas. Constata-se que no setor interno o eixo central do canal apresenta melhor grau de seleção, enquanto que nas amostras analisadas nas margens o grau de seleção é menor. No setor externo os sedimentos são, em geral, muito bem selecionados, com anomalias nos valores apenas no eixo central do canal navegável. Estas anomalias apresentam sedimentos de muito pobremente selecionados à moderadamente selecionados.



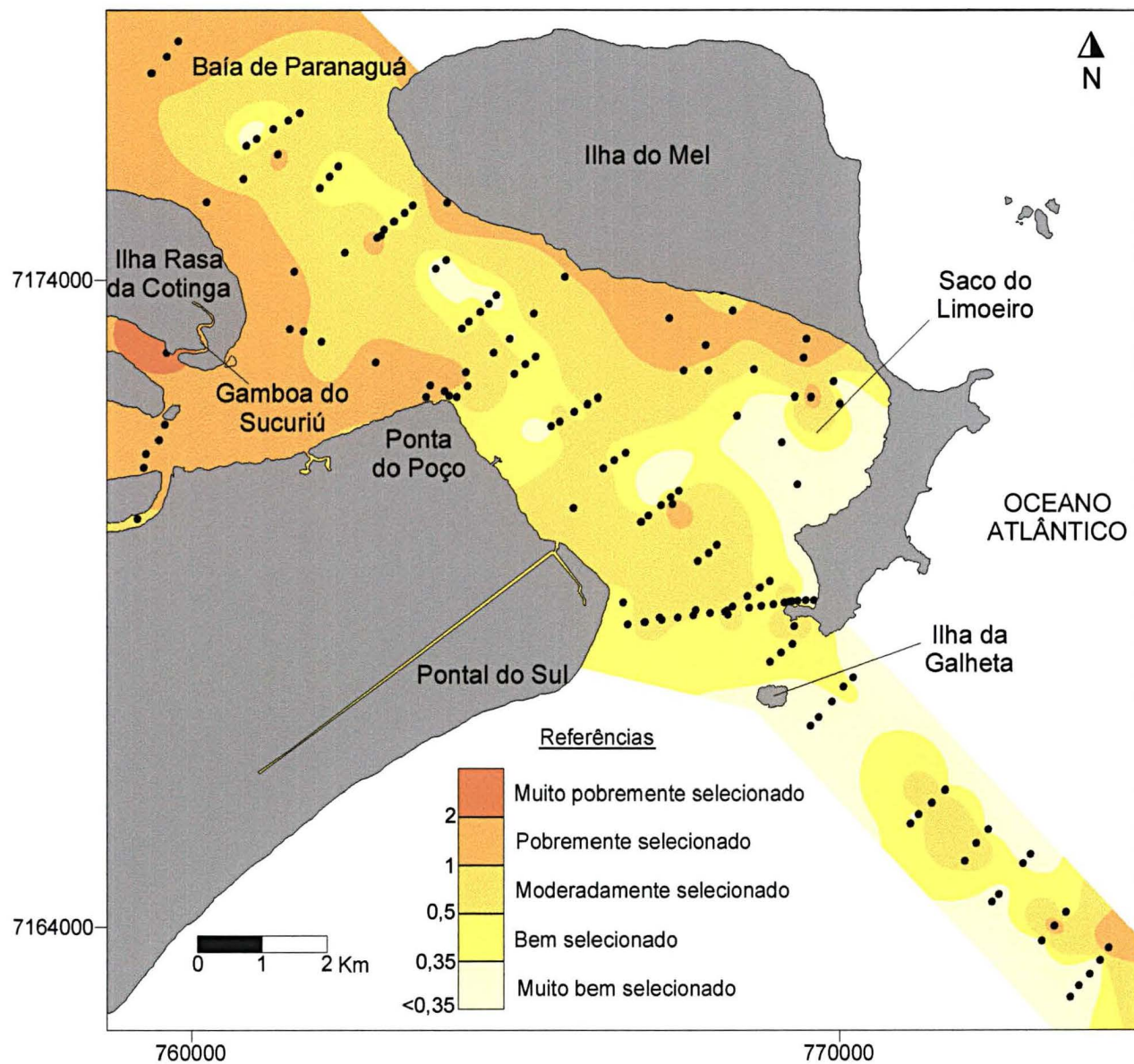
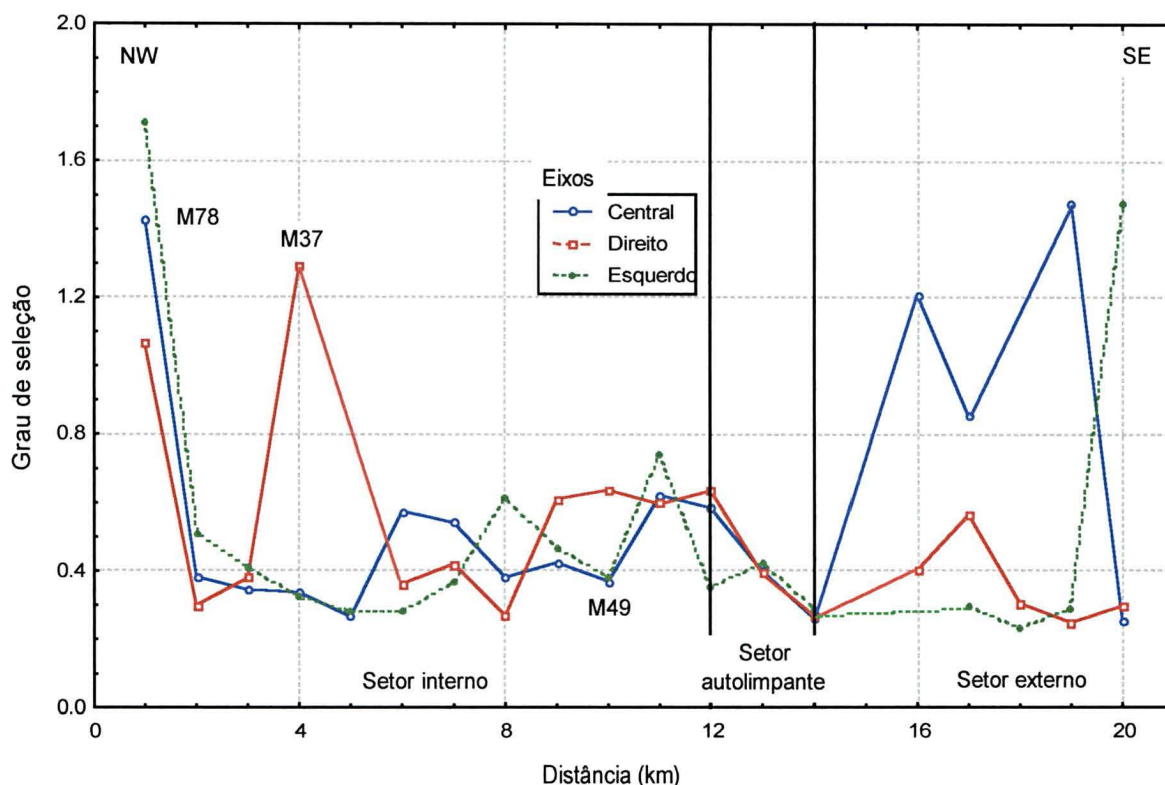


Figura 14: Distribuição dos valores de grau de seleção do canal da Galheta, e adjacências.

De forma geral os sedimentos analisados apresentam melhora no grau de seleção de montante para jusante.



**Figura 15:** Variação dos valores de grau de seleção dos sedimentos de fundo ao longo do canal da Galheta.

### 6.1.1.3 Assimetria

Observa-se que no setor interno o canal apresenta assimetria muito negativa, gradando para assimetria muito positiva nas proximidades do setor autolimpante (Figura 16). Os sedimentos localizados nas porções mais internas do estuário e na margem NE do canal apresentam assimetria muito positiva.

No setor externo as assimetrias apresentam-se muito negativas, gradando para muito positivas nos pontos mais a jusante do canal. No Saco do Limoeiro a gradação ocorre de SE para NW, com valores que variam de assimetria muito negativa à muito positiva respectivamente. Neste setor a margem de NE apresenta valores de assimetria negativa à aproximadamente simétricas (Figura 16).



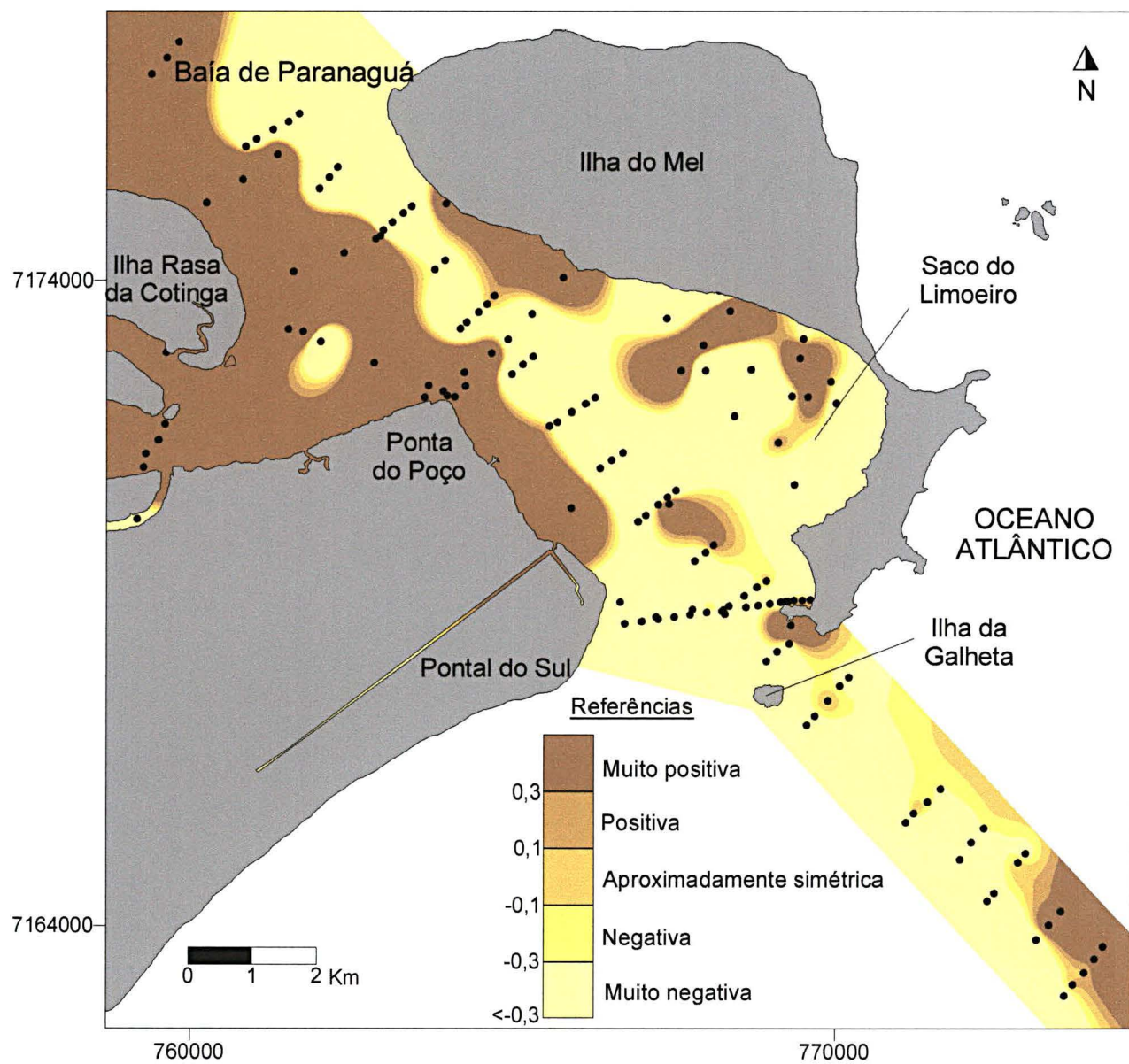
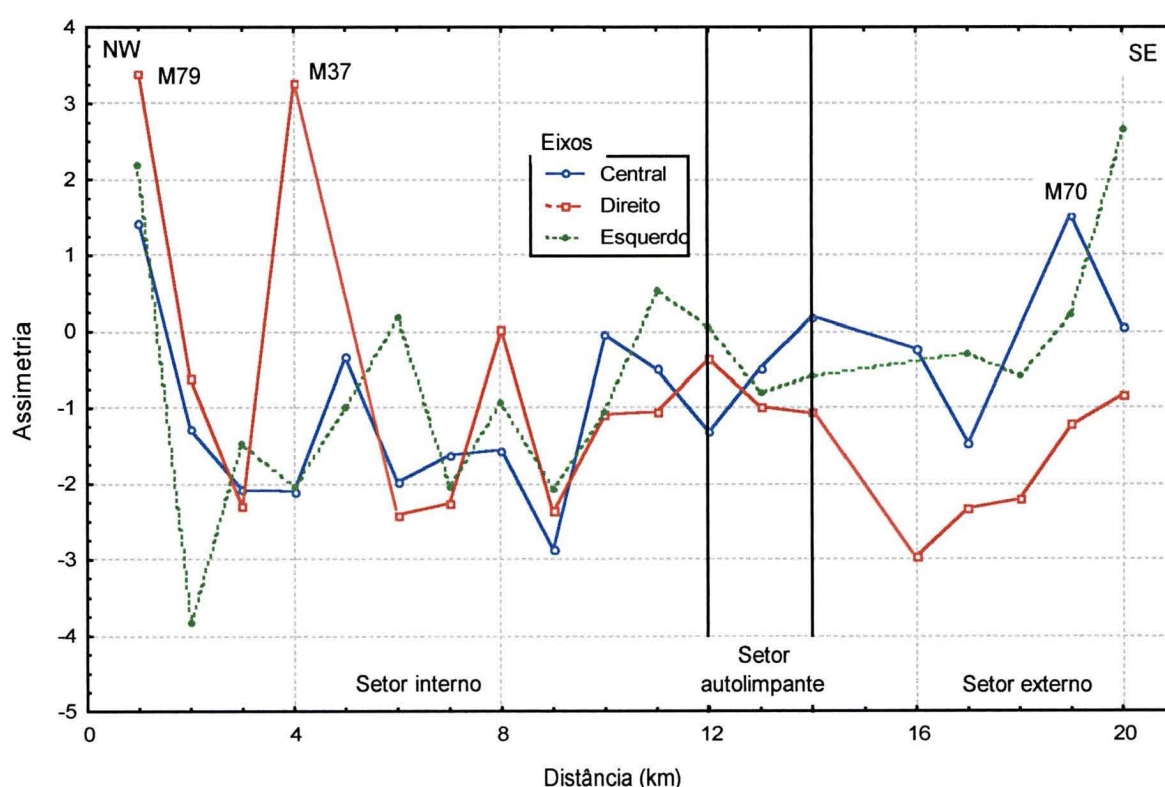


Figura 16: Distribuição dos valores de assimetria granulométrica do canal da Galheta e adjacências.

Das 18 amostras analisadas no eixo central do canal 44,4% são classificadas como aproximadamente simétricas, outros 33,3% são classificadas como assimetria negativa. Ao longo da margem direita do canal as amostras apresentam-se de aproximadamente simétricas à negativas, exceto nos 3 primeiros pontos de amostragem, onde a classificação é de muito negativa, nos pontos M80, M37 e M40 (Figura 17). Na margem esquerda 61,1% das amostras apresentam-se como aproximadamente simétricas, enquanto que 16,6% das amostras têm assimetria negativa, 11,1% têm assimetria muito positiva, 5,5% têm assimetria positiva, e 5,5% têm assimetria muito negativa (Figura 17).



**Figura 17:** Variação dos valores da assimetria dos sedimentos de fundo, ao longo do canal da Galheta.

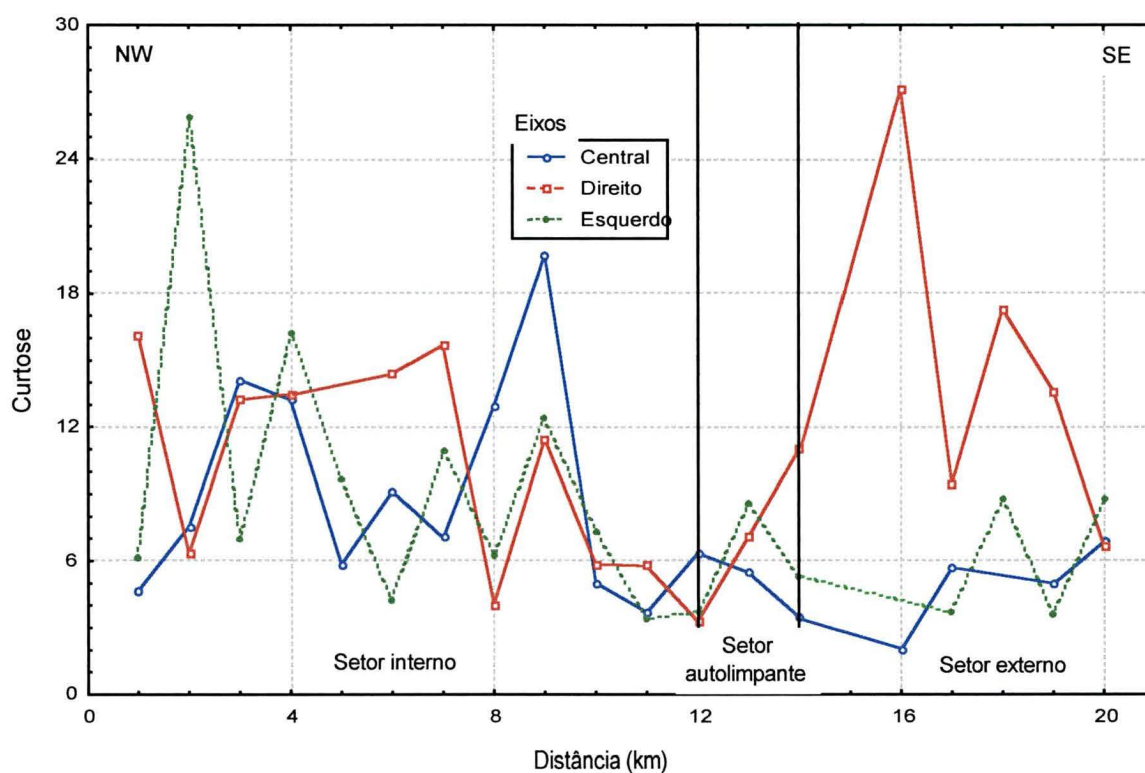
De forma geral, das 54 amostras analisadas 46,2% são classificadas como aproximadamente simétricas, sendo que 29,6% foram classificadas como tendo assimetria negativa. O restante das amostras varia entre assimetria muito positiva à muito negativa.

#### 6.1.1.4 Curtose

Aproximadamente 50% das 154 amostras apresentam-se como leptocúrticas, destas a grande maioria está situada sobre o eixo navegável, enquanto que o restante destas distribui-se nas adjacências mais próximas tanto do balneário Pontal do Sul quanto da Ilha do Mel.

No setor interno do canal os valores de curtose apresentam-se de forma semelhante nos três perfis longitudinais, apresentando curvas leptocúrticas, porém com anomalias em pontos isolados (Figura 18).

As amostras do eixo central do canal seguem o mesmo padrão das amostras marginais, sendo que ao longo dos setores as amostras pouco variaram. As variações ocorrem apenas em pontos isolados do canal, mais especificamente no eixo direito (Figura 18).



**Figura 18:** Variação dos valores de curtose dos sedimentos de fundo ao longo do canal da Galheta.



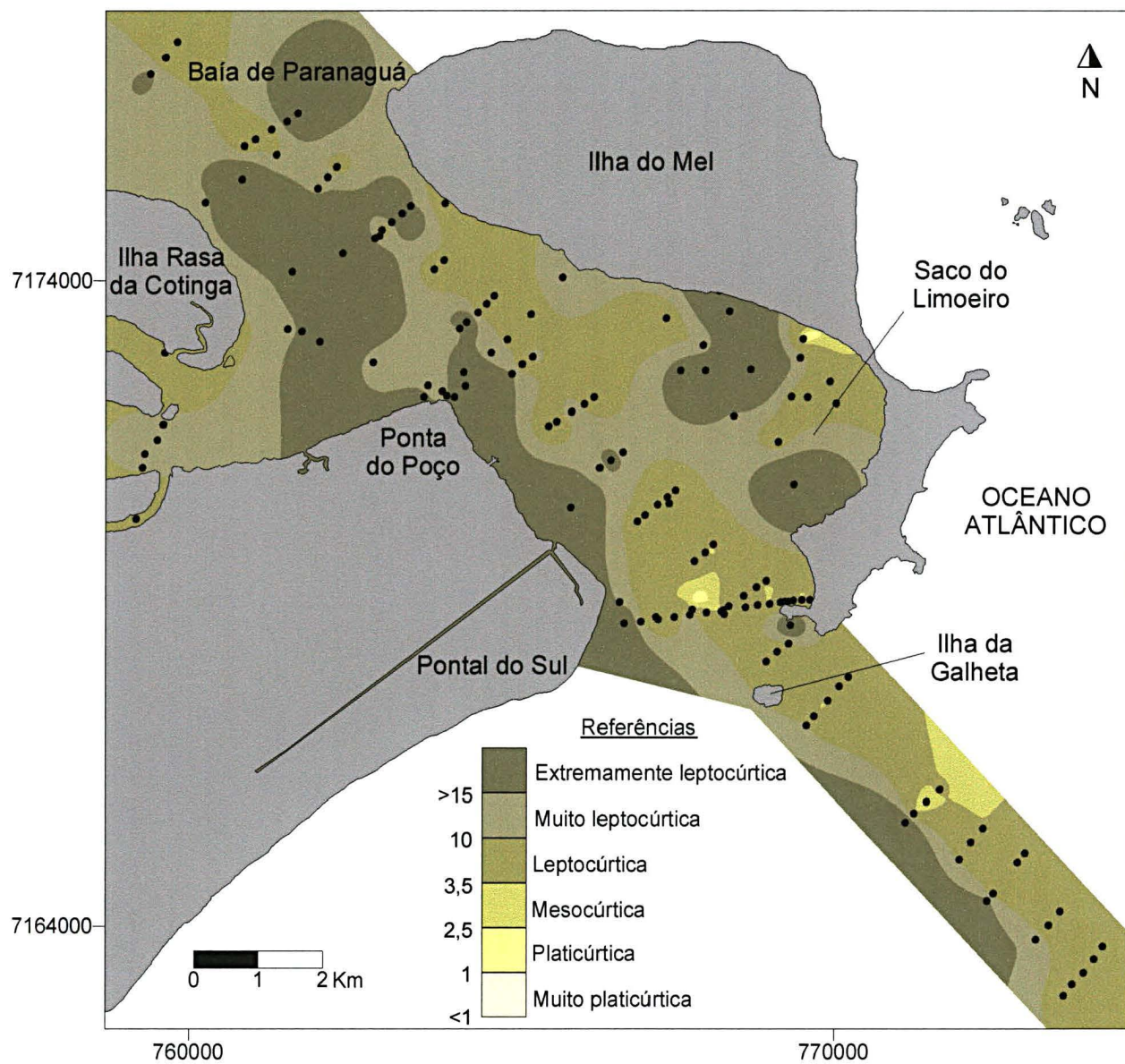


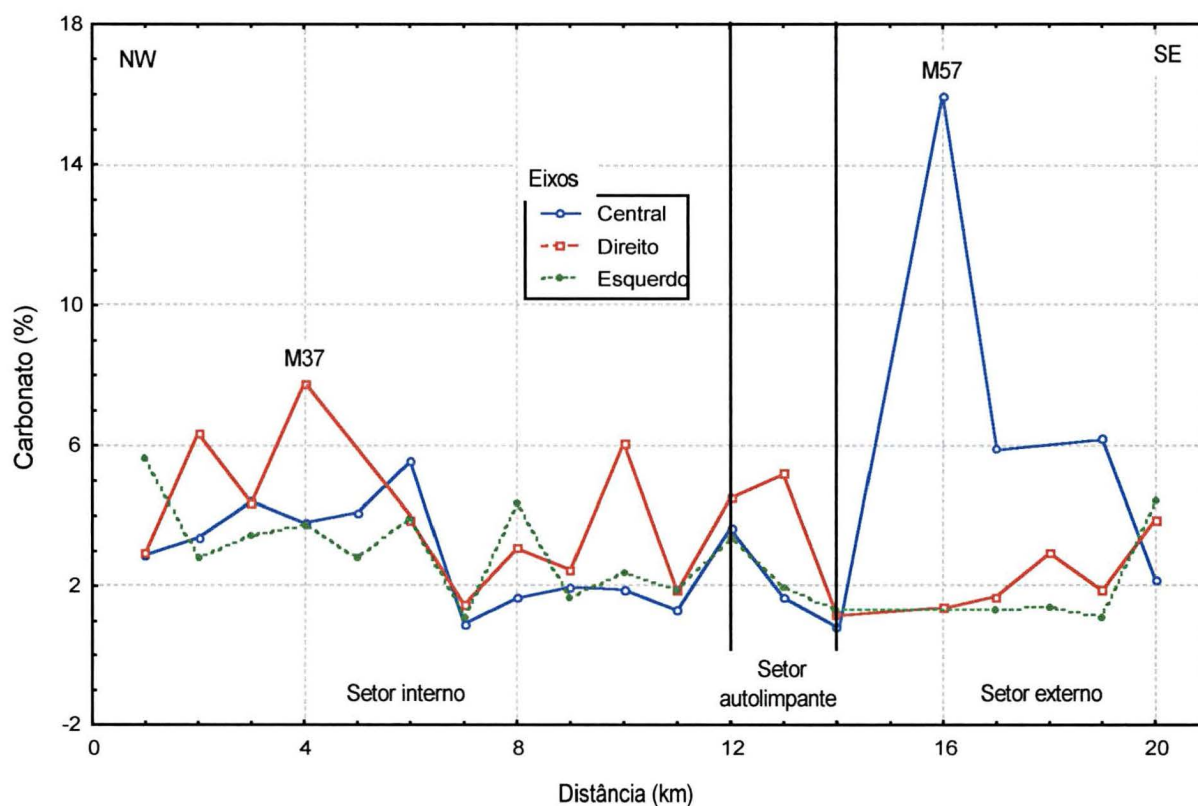
Figura 19: Distribuição dos valores de curtose granulométrica do canal da Galheta e adjacências.

No setor interno os trechos mais internos do estuário apresentam curvas mesocúrticas no canal, e muito leptocúrticas nas margens. Na margem SW do canal próximo à Ilha Rasa da Cotinga, observa-se que as curvas apresentam-se extremamente leptocúrticas, seguindo assim até a Ponta do Poço e balneário Pontal do Sul. No Saco do Limoeiro as amostras apresentam curvas de curtose variando entre extremamente leptocúrticas à muito platicúrticas. O ponto 23PR atingiu o valor máximo de 47,4, sendo este um ponto isolado (Figura 19).

No setor externo as curvas apresentam-se de extremamente leptocúrticas na margem SW, à mesocúrticas na margem NE. O canal apresenta predominantemente curvas leptocúrticas (Figura 19).

### 6.1.2 Teores de Matéria Orgânica e Carbonato Biodetrítico

As amostras analisadas quanto ao teor de matéria orgânica dos sedimentos de fundo do canal da Galheta, estão localizadas no setor interno. Os trechos próximos ao canal, têm porcentagens inferiores a 3% de matéria orgânica. Nas



**Figura 20:** Variação dos valores de carbonato biodetrítico dos sedimentos de fundo ao longo do canal da Galheta.

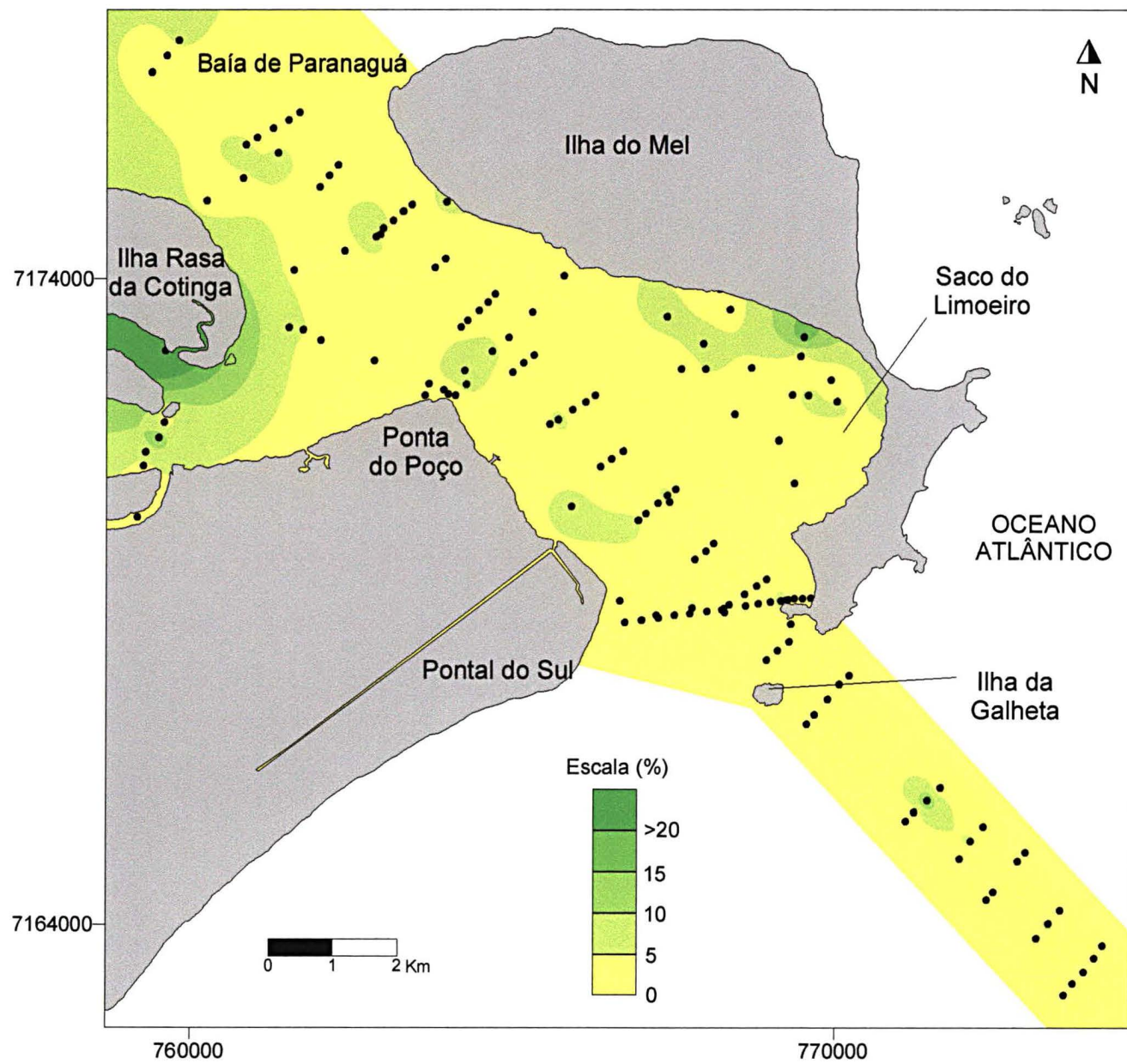


Figura 21: Distribuição dos valores de porcentagem de carbonato biodetrítico, no canal da Galheta



amostras coletadas em 1998 e 1999 predominam sedimentos arenosos, onde as porcentagens de matéria orgânica tendem a ser baixas (<5%).

Os valores de carbonato biodetrítico apresentam-se variando entre 1 e 6%. Na amostra M37 do eixo direito, do setor interno, o valor chega a 7,83%, e na amostra M57 do eixo central, setor externo, o valor chega a 15,9%. Nas adjacências do canal o valor mínimo foi de 0,28% no ponto 37PR e o máximo foi de 31,7% na amostra 73PR (Figura 20).

Em geral observam-se teores maiores de carbonato no setor interno, que no setor externo (Figura 21). Os valores tendem a uma leve diminuição em direção a jusante do estuário, e a partir da Ilha da Galheta, já no setor externo, os valores passam a aumentar consideravelmente apenas no eixo central, enquanto que nas margens a tendência é manter o padrão apresentado no setor interno.

### **6.1.3 Minerais Pesados Não Opacos**

O objetivo principal da identificação e quantificação dos minerais pesados nas amostras do canal da Galheta e balneário Pontal do Sul, foi o de comparar as assembléias mineralógicas presentes em cada um destes setores da desembocadura sul da baía de Paranaguá, buscando informações a respeito da composição mineralógica de cada compartimento.

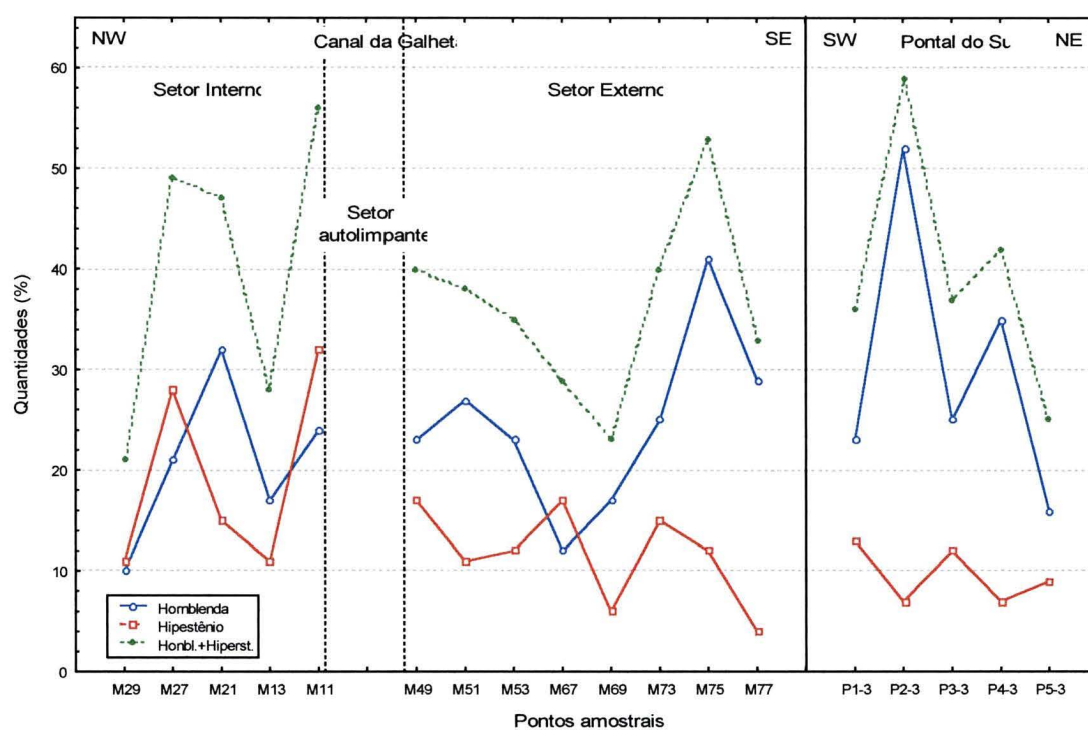
A análise das lâminas permitiu a identificação de 13 tipos de minerais pesados translúcidos: Zircão, Turmalina, Rutilo, Hornblenda, Hiperstênio, Pistachita, Apatita, Cianita, Sillimanita, Estauroлита, Granada, Monazita e Cassiterita (Tabela 7).

De forma geral, as porcentagens de minerais instáveis presentes tornam-se maiores à medida que se avança para o setor externo do canal (Figura 22). Na área amostral do balneário Pontal do Sul as análises evidenciam um decréscimo das porcentagens no sentido SW-NE, ou seja, na direção da desembocadura da baía.

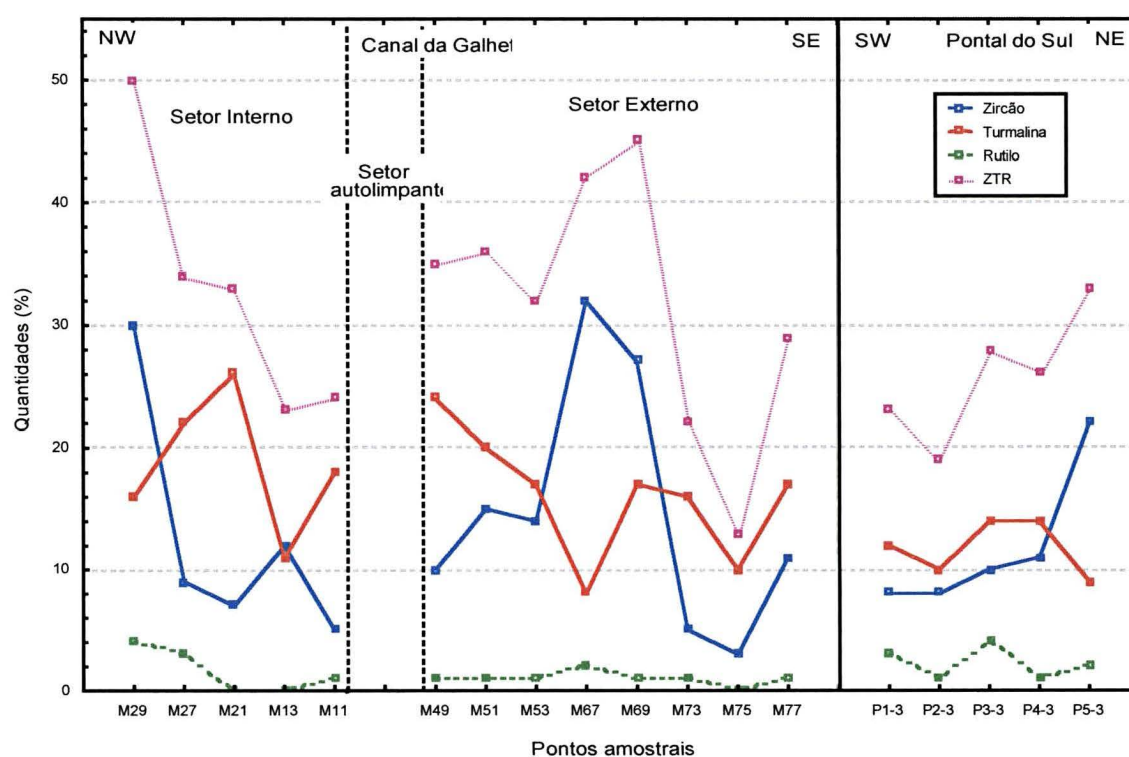
As quantidades percentuais de minerais ultraestáveis (ZTR) nas amostras do canal, evidenciam um decréscimo dos valores na direção de jusante do estuário (NW-SE). Já no balneário Pontal do Sul, os teores de minerais ultraestáveis têm um incremento nos valores no sentido SW-NE (Figura 23).

A correlação entre os minerais pesados foi feita através da técnica de Análise da Variância, onde comparou-se as amostras provenientes dos setores interno e externo do canal da Galheta, bem como as do balneário Pontal do Sul. Utilizando um





**Figura 22:** Distribuição dos minerais instáveis mais comuns (Hornblenda + Hiperstênio), presentes no canal da Galheta e Balneário Pontal do Sul.



**Figura 23:** Distribuição dos minerais ultraestáveis (ZTR) no canal da Galheta e balneário Pontal do Sul.

**Tabela 7:** Resultados das análises quantitativas e qualitativas dos minerais pesados. Em vermelho as amostras coletadas no setor interno, em azul, as amostras coletadas no setor externo e em verde, as amostras coletadas no balneário Pontal do Sul.

Minerais	Opacos %	Zircão	Turmal.	Rutilo	Hornbl.	Hiperst.	Pistach.	Apatita	Cianita	Sillim.	Estaur.	Granada	Monazita	Cassit.	Total	Ultraestáveis	Instáveis
M11	75	5	18	1	24	32	6	0	0	3	3	2	2	4	100	24	56
M13	82	12	11	0	17	11	8	0	1	1	4	2	2	2	71	23	28
M21	45	7	26	0	32	15	11	2	2	2	2	0	1	0	100	33	47
M27	47	9	22	3	21	28	6	0	1	3	3	2	0	2	100	34	49
M29	63	30	16	4	10	11	12	3	4	4	2	1	1	2	100	50	21
M49	57	10	24	1	23	17	7	1	4	5	1	1	2	4	100	35	40
M51	64	15	20	1	27	11	10	4	2	3	4	0	2	1	100	36	38
M53	53	14	17	1	23	12	22	7	0	2	0	1	1	0	100	32	35
M67	60	32	8	2	12	17	6	2	10	7	4	0	0	0	100	42	29
M69	57	27	17	1	17	6	12	4	2	10	2	0	0	2	100	45	23
M73	30	5	16	1	25	15	21	8	5	2	1	0	0	1	100	22	40
M75	45	3	10	0	41	12	20	1	6	0	1	1	3	2	100	13	53
M77	36	11	17	1	29	4	18	5	7	3	3	1	0	1	100	29	33
P1-3	58	8	12	3	23	13	17	5	6	5	2	3	2	1	100	23	36
P2-3	53	8	10	1	52	7	10	3	6	3	0	0	0	0	100	19	59
P3-3	69	10	14	4	25	12	10	4	12	4	2	1	0	2	100	28	37
P4-3	50	11	14	1	35	7	12	1	8	4	4	1	1	1	100	26	42
P5-3	66	22	9	2	16	9	13	3	8	6	10	0	1	1	100	33	25

nível de significância de 5%, não houve diferença significativa, isto é, as quantidades de minerais não diferem de setor para setor.

## 6.2 Morfologia da Desembocadura Sul da Baía de Paranaguá

O relevo do fundo da desembocadura sul da baía de Paranaguá, apresenta um desvio da isóbata de 5 m (Figuras 24 e 25), em relação a linha de costa do litoral paranaense. A área à montante desta linha corresponde ao banco da Galheta, uma área com profundidade variando entre 2 e 4 m. Se comparada às profundidades encontradas no canal da Galheta ou na plataforma continental interna (Figuras 24 e 25), esta área apresenta pequenas profundidades. Esta configuração, associada ao modelo de delta descrito por Hayes (1980), é caracterizada como o lobo terminal do delta de maré vazante descrito por Angulo (1999). Segundo este mesmo modelo, o setor autolimpante corresponderia ao canal principal de vazante do delta.

Com a delimitação da isóbata de 5 m, ainda pode-se constatar que o lobo terminal do delta tem uma forma assimétrica, em relação ao canal principal de vazante, sendo a margem SW maior que a margem NE (Figuras 24 e 25).

No trecho entre a Ilha da Galheta e o balneário Pontal do Sul há um canal, com profundidades menores daquelas encontradas canal da Galheta. Este canal está orientado de SW para o NW, contornando o balneário Pontal do Sul, e pode ser interpretado como um canal marginal de enchente como o descrito no modelo de Hayes (1980) (Figura 26).

Antes da abertura do canal, no setor interno (Figura 24), pode-se observar que havia um canal com forma sinuosa, entre as Pontas do Poço e Caraguatá, na Ilha do Mel. Este canal apresenta profundidades em torno dos 10 m, aprofundando-se próximo às Pontas. Na margem SW pode ser observado um banco alongado no sentido NW, entre as bóias 9 e 11, com profundidades entre 6 e 8 m. Após a abertura do canal, já na situação de 1998 (Figura 25), nota-se que as margens foram deslocadas para NE, afastando a margem SW do balneário Pontal do Sul. Nesta margem houve assoreamento com volume de 898.462,9 m<sup>3</sup>.

Neste canal pode ser observado um relevo rugoso, que na situação de 1972, estende-se desde a Ponta Caraguatá até uma projeção da linha do canal da DNOS

(Figura 27), e na situação de 1998 diminui a extensão até as bóias 11 e 12, mantendo-se nos limites do canal (Figura 28).

Um pequeno canal pode ser notado nas imediações da Ponta Caraguatá, avançando em direção ao Saco do Limoeiro. Comparando-se ao modelo de Hayes (1980) este poderia ser associado ao canal de enchente do delta de maré. Este canal tem orientação NE, curvando-se de acordo com a forma da linha de costa da Ilha do Mel (Figuras 27 e 28).

O Saco do Limoeiro é limitado em sua porção ocidental, pela isóbata 2 m e na porção oriental pela linha de costa da Ilha do Mel (Figuras 24 e 25). Nesta área os taludes são suaves, com uma rampa que mergulha 2 m de profundidade em um deslocamento horizontal de 2 km.

Na área próxima a Ponta do Poço, observa-se o prolongamento flexionado do canal da Cotinga. Na situação de 1972 (Figura 24) este canal estendia-se até a seqüência de dunas subaquosas nas adjacências do canal da DNOS. Nas adjacências da Ponta do Poço observa-se um talude orientado no sentido NW, com inclinações acentuadas, onde ocorre o flexionamento do canal.

A partir da Ilha Rasa da Cotinga ocorre uma elevação que estende-se até as bóias 15 e 16 (Figuras 24 e 25). Esta elevação separa dois canais principais que confluem nas imediações da Ponta do Poço, um provindo do canal da Cotinga e outro da baía de Paranaguá, propriamente dita.



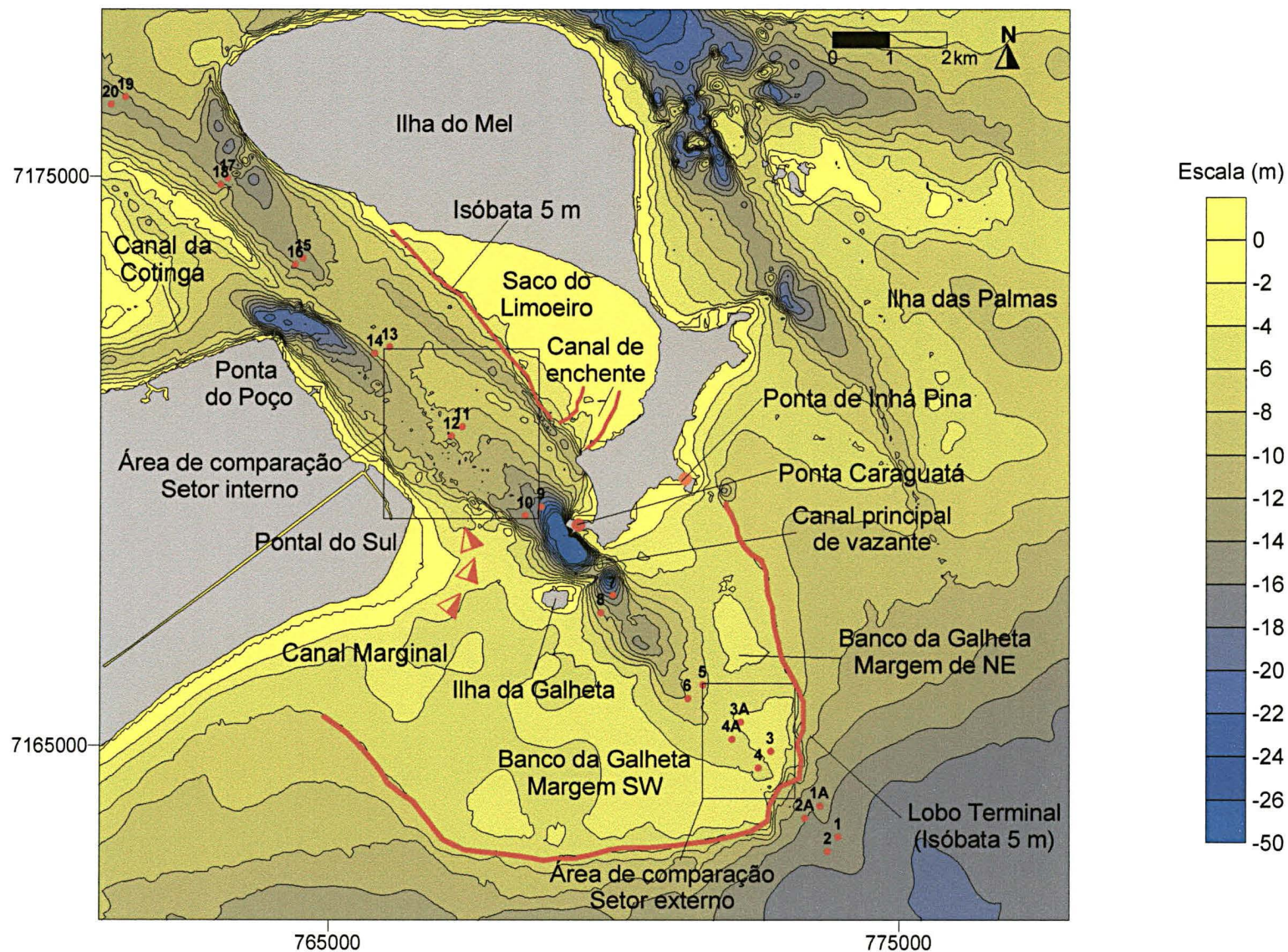


Figura 24: Mapa de localização das áreas de comparação batimétrica, nos setores interno e externo do canal da Galheta, associadas às feições morfológicas do modelo de delta de maré vazante e de enchente descrito por Hayes (1980). Situação em 1972.



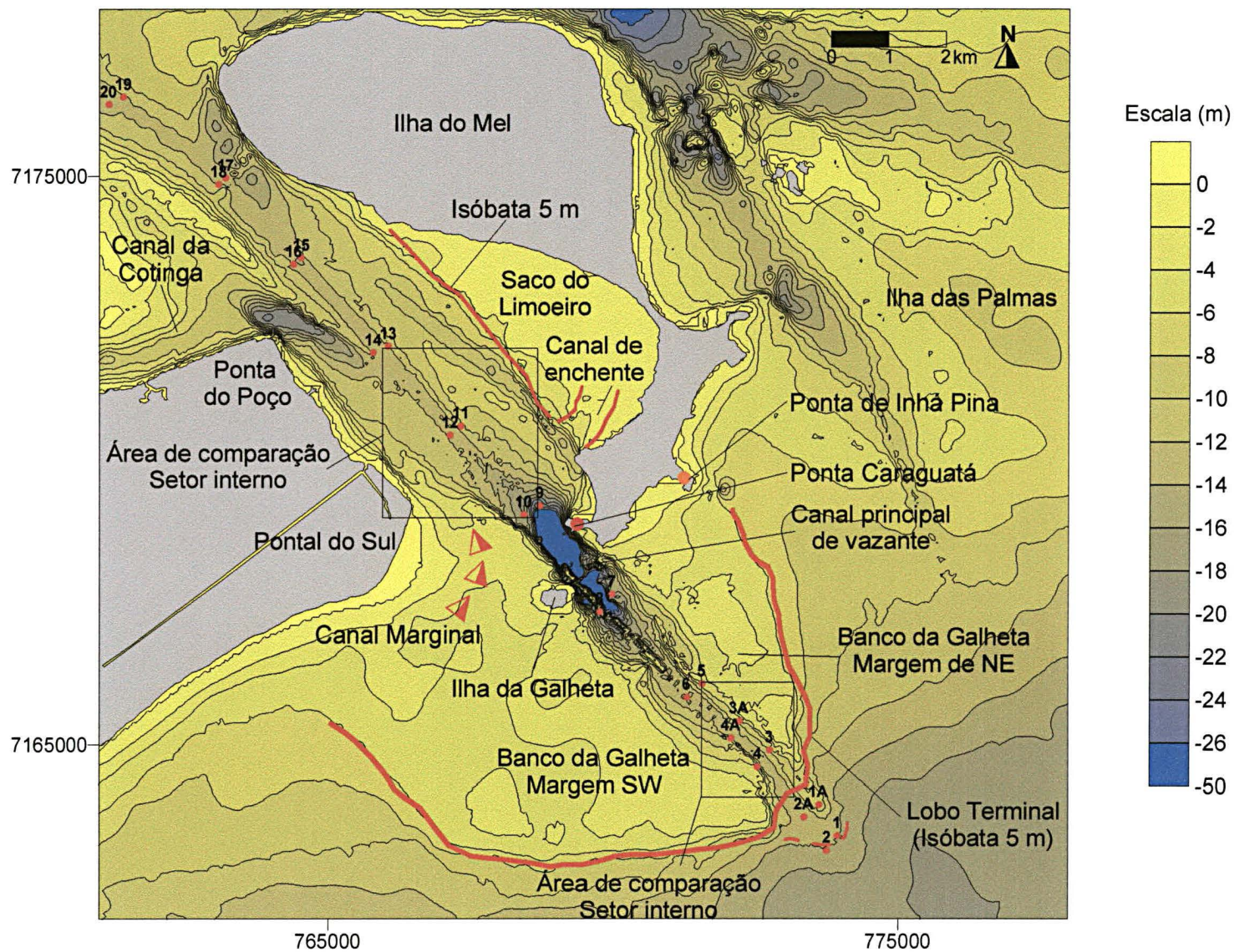
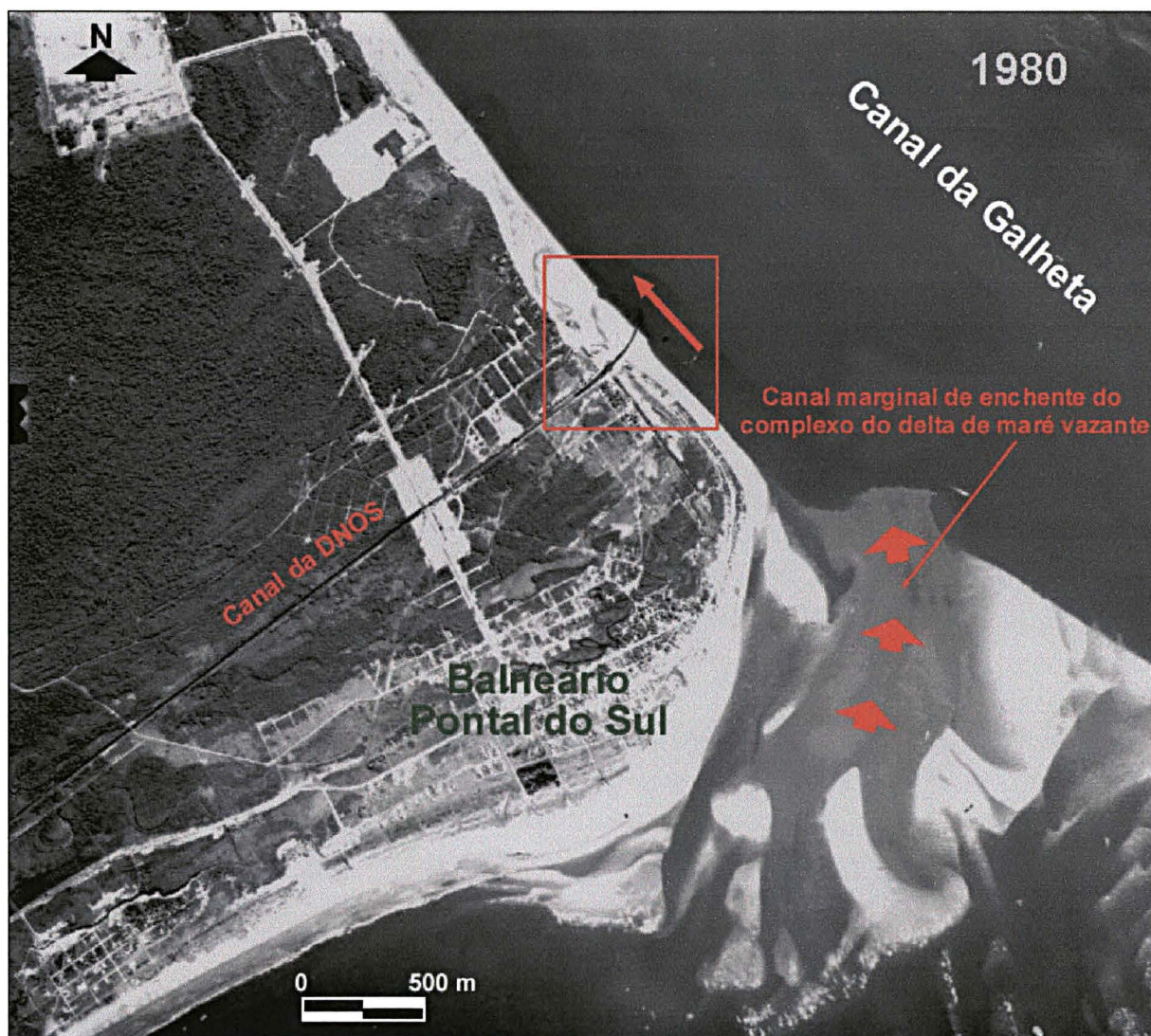


Figura 25: Mapa de localização das áreas de comparação batimétrica, nos setores interno e externo do canal da Galheta, associadas às feições morfológicas do modelo de delta de maré vazante e de enchente descrito por Hayes (1980). Situação em 1998.





**Figura 26:** Foto aérea do balneário Pontal do Sul, onde observa-se o canal marginal do delta de maré vazante da baía de Paranaguá, e a ação das correntes de enchente na desembocadura do canal da DNOS.



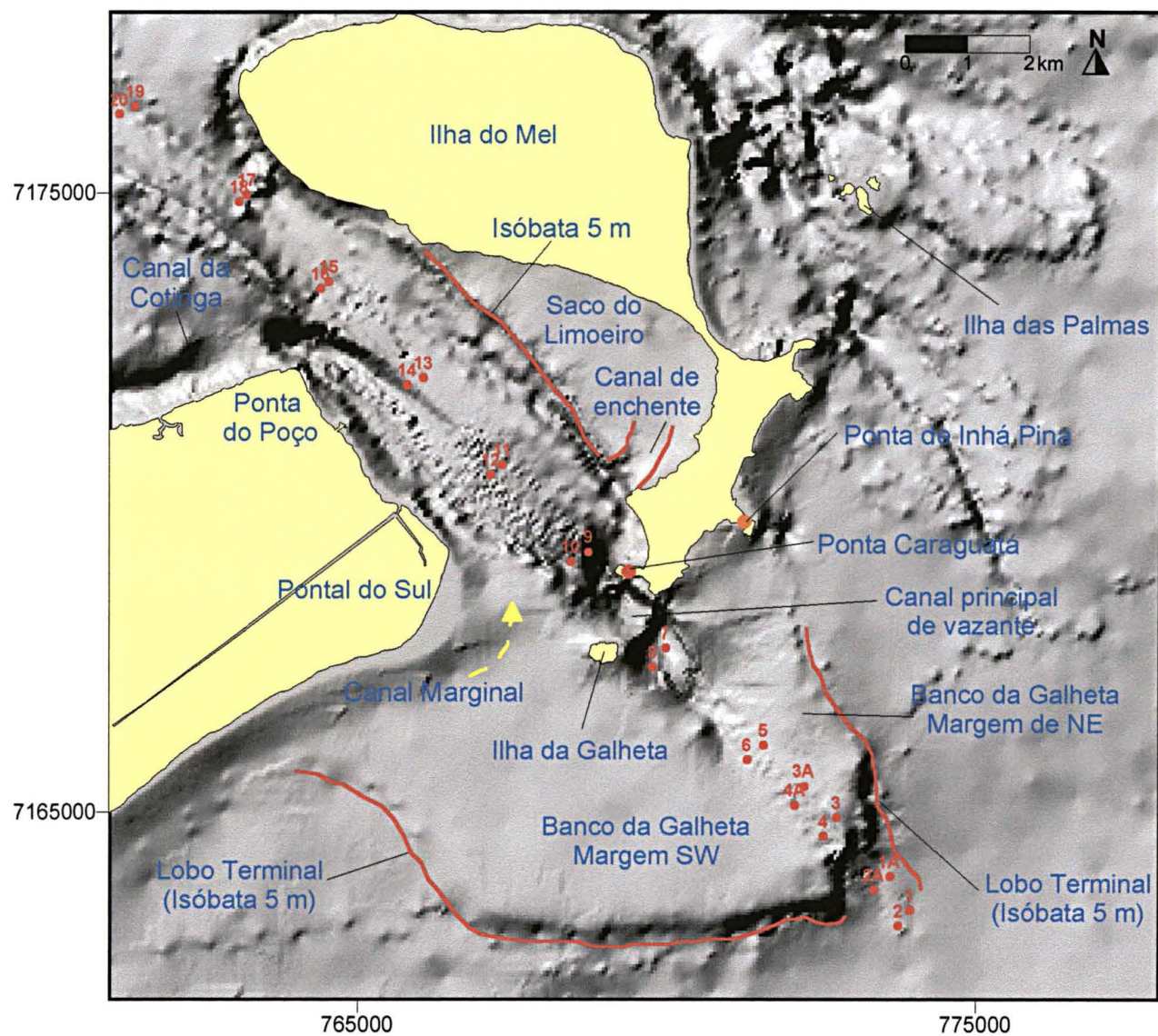


Figura 27: Mapa de superfície de fundo do canal da Galheta em 1972, com a indicação das feições morfológicas associadas.

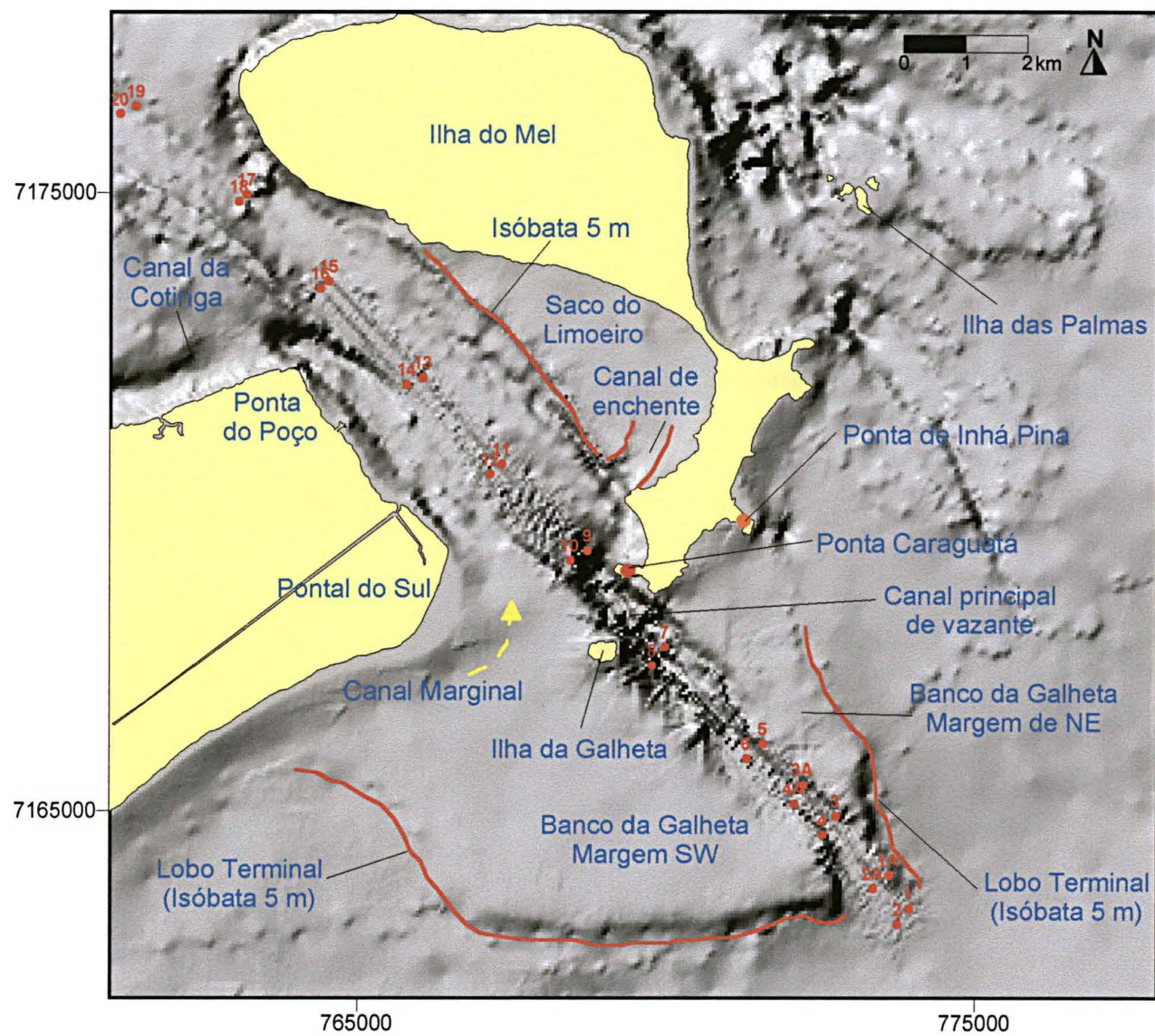


Figura 28: Mapa de superfície de fundo do canal da Galheta em 1998, com a indicação das feições morfológicas associadas.



A descarga fluvial da margem oriental-sul da planície litorânea está concentrada no canal da Cotinga (Figura 2). Observa-se também que nas proximidades de promontórios rochosos ou em regiões onde há pontais nos contornos da linha de costa, que há áreas de maior profundidade. As profundidades encontradas nas adjacências da Ponta Caraguatá, da Ponta do Poço e da Ponta de Nhá Pina (Ilha do Mel), reforçam esta afirmação (Figuras 24 e 25).

### 6.3 Formas de Leito

Em uma análise mais apurada das informações batimétricas, foi possível a identificação de formas de fundo bidimensionais no canal da Galheta. Estas foram interpretadas como ondas de areia (*sandwaves*) de grande porte (Tabela 3), na classificações de Ashley (1990). Estendem-se desde as imediações da Ilha da Galheta, até o prolongamento do canal da DNOS.

Como estas ondas de areia foram interpretadas a partir de modelagens matemáticas dos dados batimétricos, não foi possível a identificação das faces de jusante e montante, nem mesmo de assimetrias entre estas faces.

Observa-se na superfície de 1998 (Figura 29B) que as ondas de areia, mostram-se mais marcadas que em 1972 (Figura 29A). Isto se deve a malha de pontos em que foram realizados no levantamento batimétrico. Em 1998 os pontos levantados praticamente cobriram toda a área do canal, não deixando locais sem amostragem.

O mapa produzido com os dados de 1972 (Figura 29A) mostra uma rugosidade no fundo do canal, não possibilitando a identificação precisa de linhas de cristas nem ao menos suas orientações. No perfil A-A', nota-se que o fundo do canal estava mais raso e com ondulações sem um padrão definido (Figura 30).

Na situação de 1998 as linhas de cristas estão bem definidas, com orientação N-S (Figura 29B). No perfil A-A'' (Figura 31) observa-se que as ondas de areia estão em dois setores: um mais raso com profundidade média de 13 m; e outro mais profundo, com profundidade média de 16 m, já dentro do canal da Galheta.

Com a alteração das correntes de maré, pela abertura do canal, as formas de fundo mal definidas verificadas em 1972, no canal, passaram a ondas de areia (*sandwaves*) na situação de 1998. Um fator que deve ser considerado é que em 1972 a metodologia empregada para obtenção dos dados utilizava um sistema de

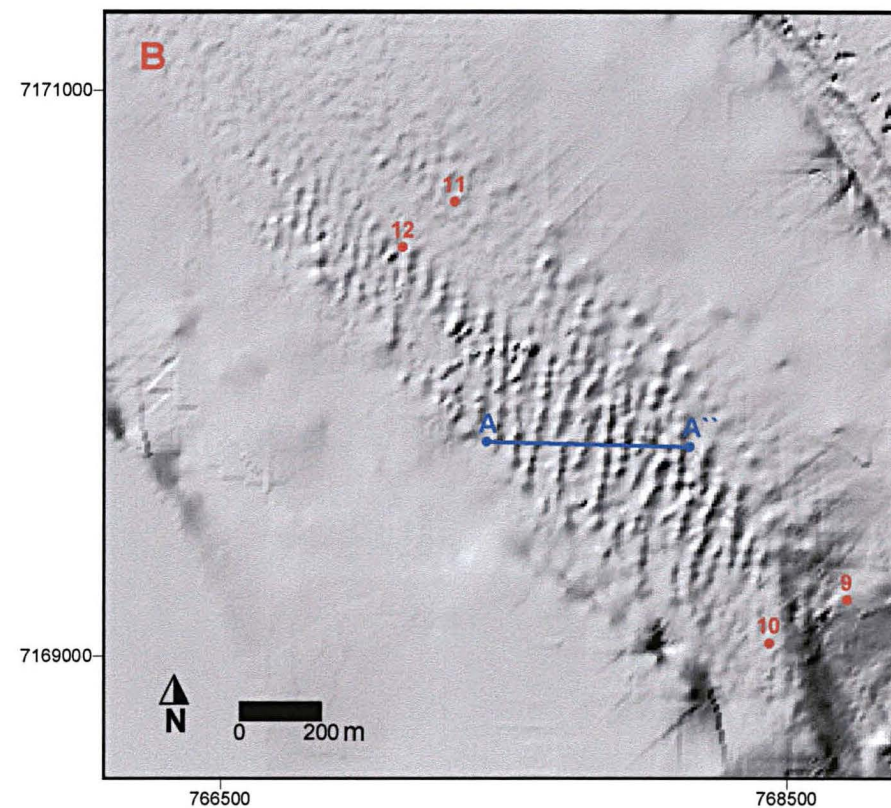
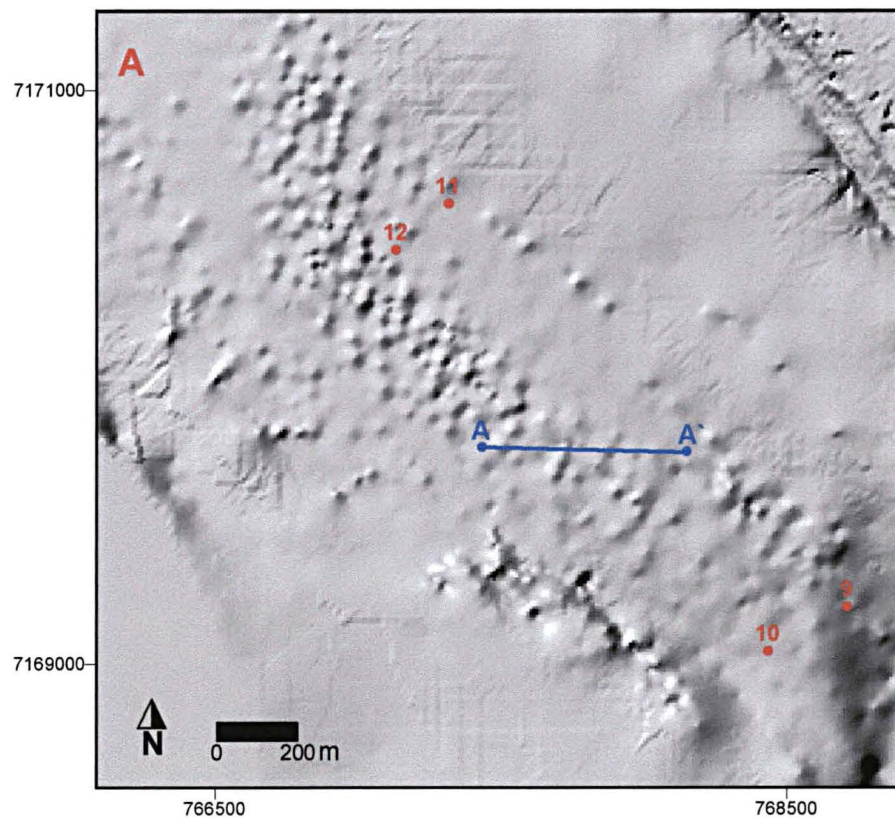
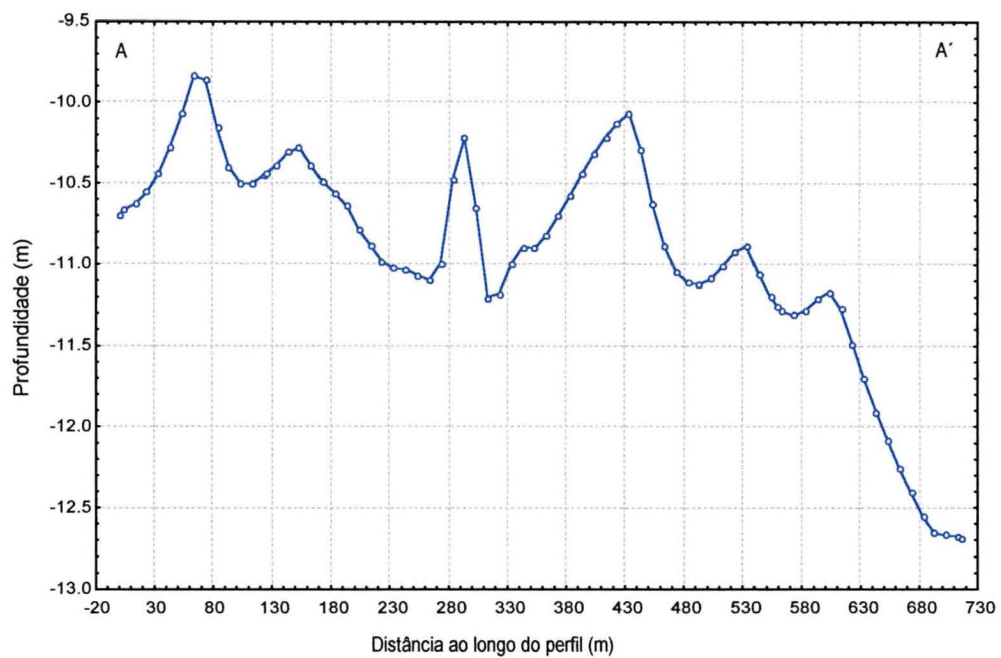
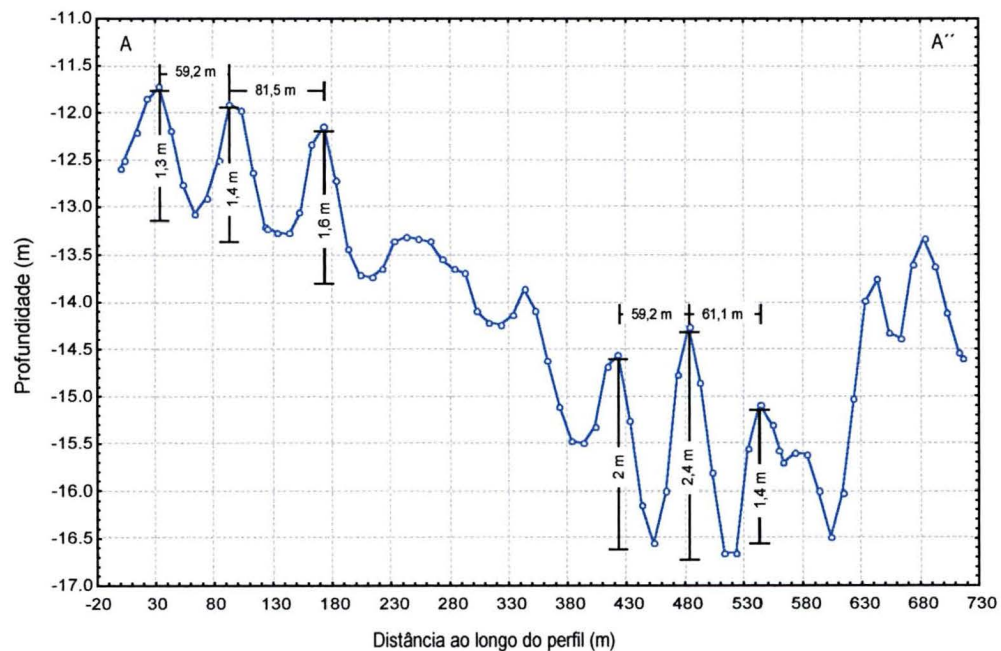


Figura 29: Figura sombreada das batimetrias realizadas em 1972 (A), e 1998 (B), mostrando a orientação das linhas de cristas das ondas arenosas (sandwaves) do canal da Galheta. Em azul os perfis batimétricos realizados e em vermelho as bóias balizadoras do canal.



**Figura 30:** Perfil batimétrico mostrando o comprimento de onda e altura das ondas de areia (*sandwaves*), em 1972.



**Figura 31:** Perfil batimétrico mostrando as dimensões das ondas de areia (*sandwaves*) em 1998.

teodolitos com leituras de posição geográfica sincronizadas, enquanto nos levantamentos mais recentes são empregados equipamentos GPS de alta resolução, com ecobatímetros precisos. Outro ponto a ser considerado é a cobertura de pontos sobre a área de interesse. O levantamento realizado em 1998, cobriu praticamente toda a área, enquanto que em 1972 alguns locais ficaram sem informação, dependendo assim da interpolação feita por krigagem.

As ondas de areia do setor mais raso apresentam dois comprimentos de onda distintos, um de 59,2 m e outro de 81,5 m, com altura média de 1,45 m (Figura 31). Na porção mais profunda os comprimentos de ondas de areia estão em torno de 60 m com alturas variáveis entre 1,4 na menor, e 2,4 na maior (Figura 31).

#### **6.4 Comparações Batimétricas**

As comparações batimétricas realizadas no setor externo estendem-se entre as bóias 2A e 6 (Figura 32), com uma área aproximada de comparação de 1,53 km<sup>2</sup>. No setor interno as informações batimétricas abrangem o trecho compreendido entre as bóias 9 e 14 (Figura 32), com área plana aproximada de 3,13 km<sup>2</sup>.

##### **6.4.1 Setor Externo**

O levantamento batimétrico de maio de 1972 foi realizado em face aos primeiros estudos para a abertura do canal da Galheta. Tomando-se como base este levantamento, constata-se uma superfície aproximadamente regular com aumento das profundidades no sentido de SE (Figura 33A). A superfície apresentada para este ano mostra parte do lobo terminal do delta de maré vazante, descrito por Angulo (1999) segundo o modelo Hayes (1980). Entre junho de 1972 e março de 1974 foram realizadas as dragagens para abertura do referido canal à uma cota de 9 m de profundidade (APPA, inédito).

Entre abril de 1974 e maio de 1975 o canal foi dragado com o intuito de aprofundamento para a cota 12 m (APPA, inédito). Após estas dragagens, nota-se um canal retilíneo com as margens bem definidas no sentido NW-SE (Figura 33B). Observa-se na margem de SW, uma pequena área com profundidade média de 2 m, que representa o trecho mais raso do banco da Galheta (Figura 33B).



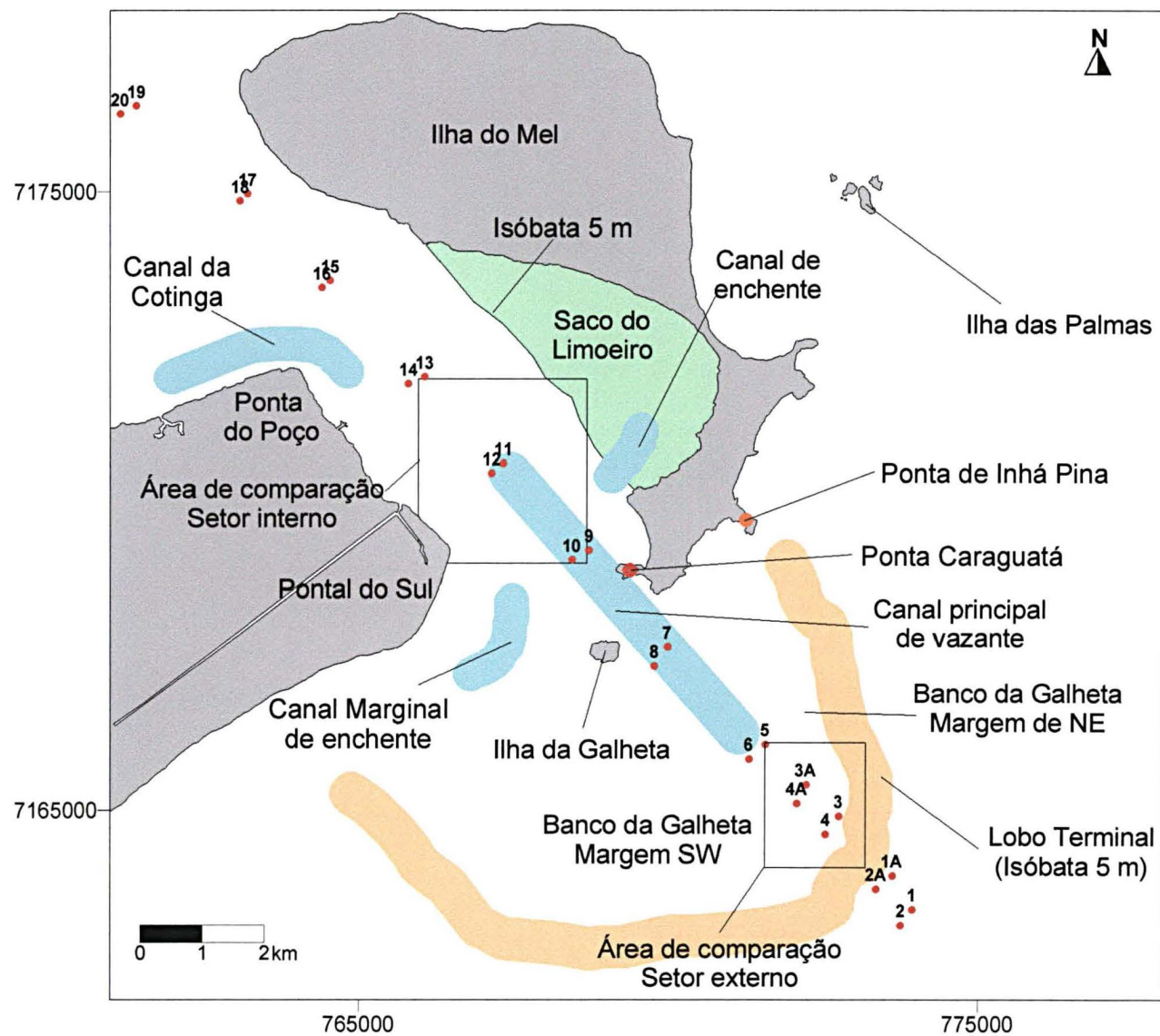


Figura 32: Localização das áreas onde foram efetuadas as comparações batimétricas no canal da Galheta, em relação às feições morfológicas dos deltas de maré vazante e enchente descritos por Angulo (1999).

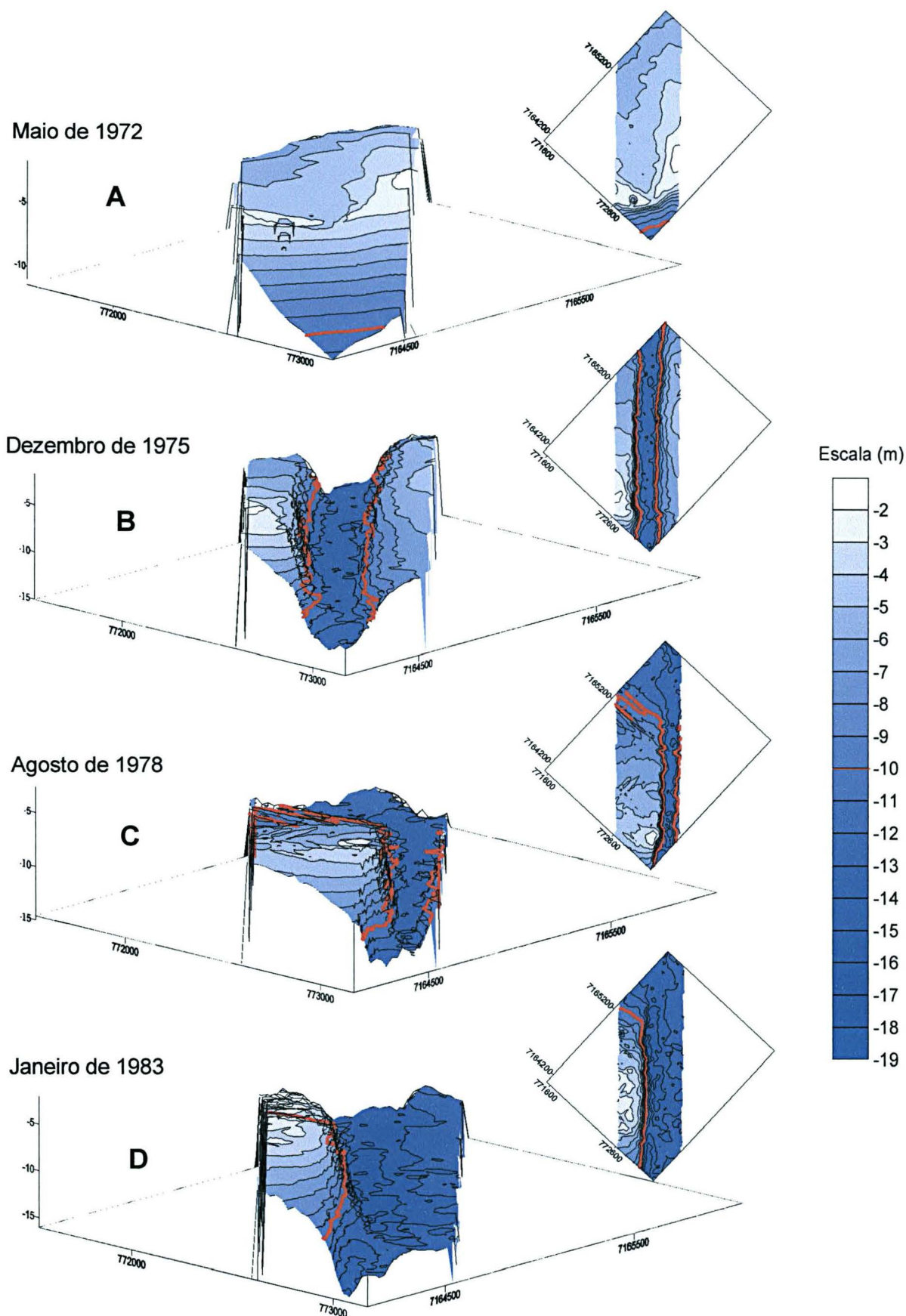


Figura 33: Blocos diagrama representando as modificações morfológicas ocorridas no setor externo do Canal da Galheta, entre os anos de 1972 e 1983.

Entre junho de 1976 e janeiro de 1977 foram realizadas dragagens para alargamento do canal da Galheta (APPA, inédito). O levantamento batimétrico de agosto de 1978 é respectivo a uma companhia pré-dragagem, das que foram realizadas entre outubro e dezembro do mesmo ano para a conservação dos taludes do canal.

No bloco diagrama do ano de 1978 (Figura 33C), a margem SW avança sobre os limites do canal escavado em 1975. Na margem NE não se observa talude nesta parte do canal, tendo sido quase que completamente erodida, ao menos na área abrangida pela batimetria. Observando-se as margens do canal, realçadas pela isóbata 10 m nota-se que a frente de sedimentos avançou sobre os limites do canal diminuindo a sua largura. Na porção mais oceânica o canal está curvado, com a parte côncava voltada para o quadrante SW.

Entre outubro de 1979 e abril de 1982 foram realizadas dragagens para conservação dos taludes e manutenção das sobrelarguras do canal (APPA, inédito).

Em 1983 as margens do canal apresentam-se ainda curvas porém, a frente sedimentar está disposta de forma a ocupar uma área menor (Figura 33D). A margem NE foi completamente erodida, sendo que a isóbata 10 m não está mais presente. O canal está com a largura ampliada em relação a situação encontrada em 1978.

Entre abril de 1984 e julho de 1990 foram feitas 11 dragagens, não estando determinada a finalidade destas (APPA, inédito) porém, muito provavelmente com o intuito de manter as profundidades navegáveis do canal da Galheta.

Entre agosto e dezembro de 1991 foram realizadas novas dragagens do canal da Galheta, sendo que o levantamento batimétrico de junho de 1991 corresponde a uma situação de pré-dragagem. Neste levantamento (Figura 33E) o talude de NE aparece parcialmente restituído, com profundidades maiores que 10 m. A margem SW apresenta uma curvatura semelhante à encontrada na batimetria de 1983.

Entre janeiro e dezembro de 1992 foram realizadas novas dragagens no canal (APPA, inédito).

Em 1993 realizaram-se 3 batimetrias, sendo uma em abril (Figura 33F), uma em julho (Figura 33G) e uma em dezembro (Figura 33H). Entre janeiro e abril de 1993 foram realizadas dragagens no canal da Galheta, sendo então realizada um levantamento batimétrico em abril, do mesmo ano (Figura 33F). No mês de junho foi executada uma dragagem de pequenas proporções, seguida de outro levantamento

batimétrico (Figura 33G). Nas batimetrias realizadas em abril e julho os blocos diagrama apresentam-se semelhantes porém, o banco avançou suavemente em direção ao canal. A margem NE em abril está com contornos menos definidos que os presentes em julho. Ainda na margem NE, a isóbata 10 m está deslocada, para este quadrante, em julho. Entre setembro e dezembro de 1993 foram realizadas mais 4 dragagens no canal da Galheta (APPA, inédito). A superfície de dezembro (Figura 33H) corresponde a um levantamento batimétrico pós-dragagem. Neste caso, a frente do banco está mais avançada em relação aos limites do canal, com a margem de NE deslocada nesta direção. Na porção mais interna do estuário, a isóbata 10 m mostra uma redução na área do banco. A frente de sedimentos provindos do quadrante SW, ao avançar sobre o canal desloca a margem de NE, modificando os limites do canal. Ao comparar-se as superfícies de julho e dezembro também pode ser notado que a margem de NE fica mais acentuada à medida que o banco avança sobre o canal.

No ano de 1994 foram realizadas 2 batimetrias, uma em março (Figura 33I) e outra em junho (Figura 33J). O levantamento de março corresponde a situação de pré e da junho a de pós-dragagem (APPA, inédito). Comparando-se as superfícies de março de 1994 com a superfície de dezembro de 1993, pode-se notar que a margem de NE está com o talude mais suave em 1994, ainda apresentando uma curvatura dos limites do canal. Nesta ocasião o banco teve um aumento de área para o interior do estuário.

Entre a superfície de março e junho de 1994, observa-se avanço na frente de sedimentos na margem de SW. A margem NE apresenta-se com talude suave nas duas situações porém na situação de junho está deslocada para o quadrante de NE. Nota-se que com o avanço do banco a margem de NE migra para o quadrante NE, mantendo a curvatura do canal.

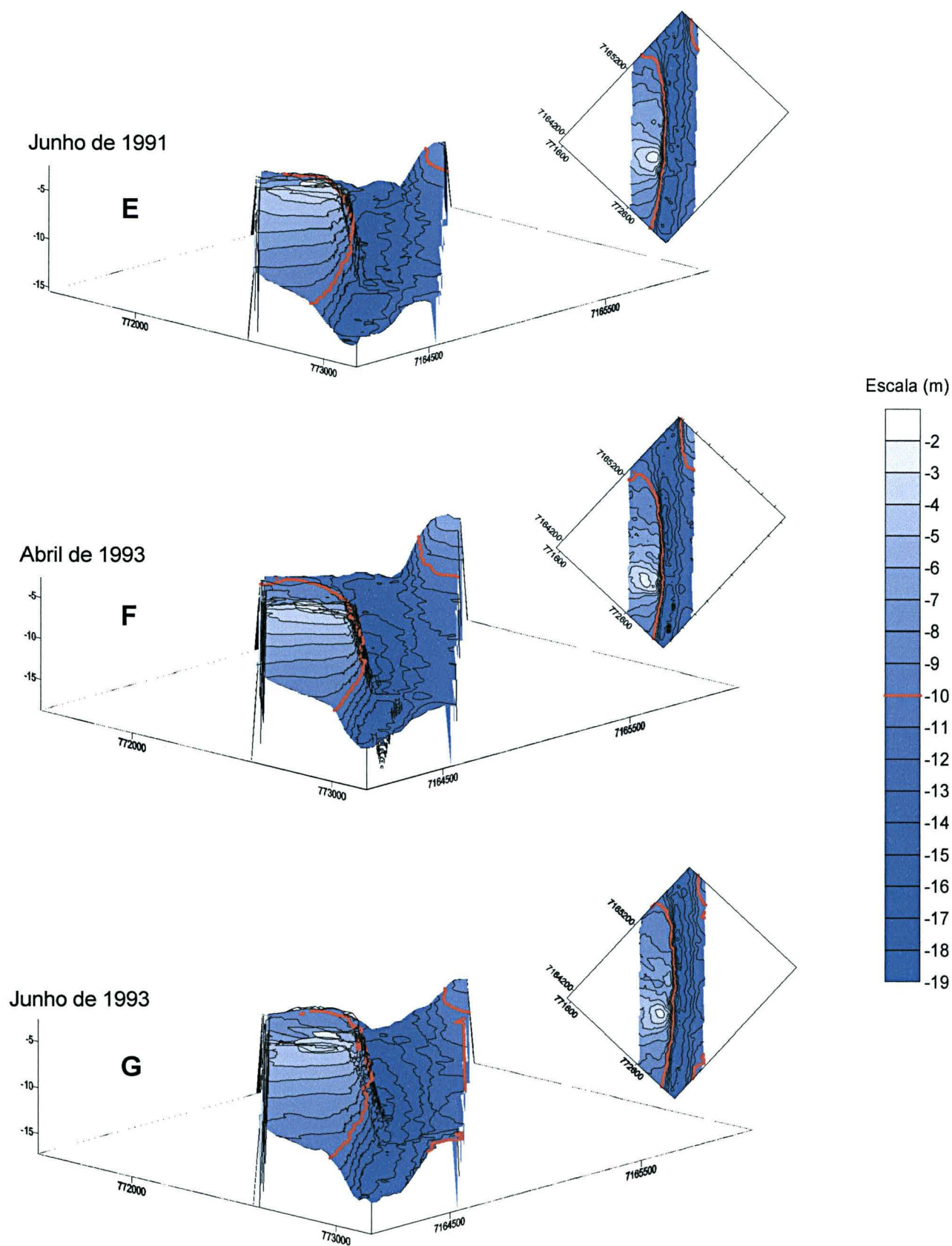


Figura 33 (Continuação): Blocos diagrama demonstrando as diferentes superfícies de fundo do setor externo do Canal da Galheta, entre os anos de 1991 e 1993.



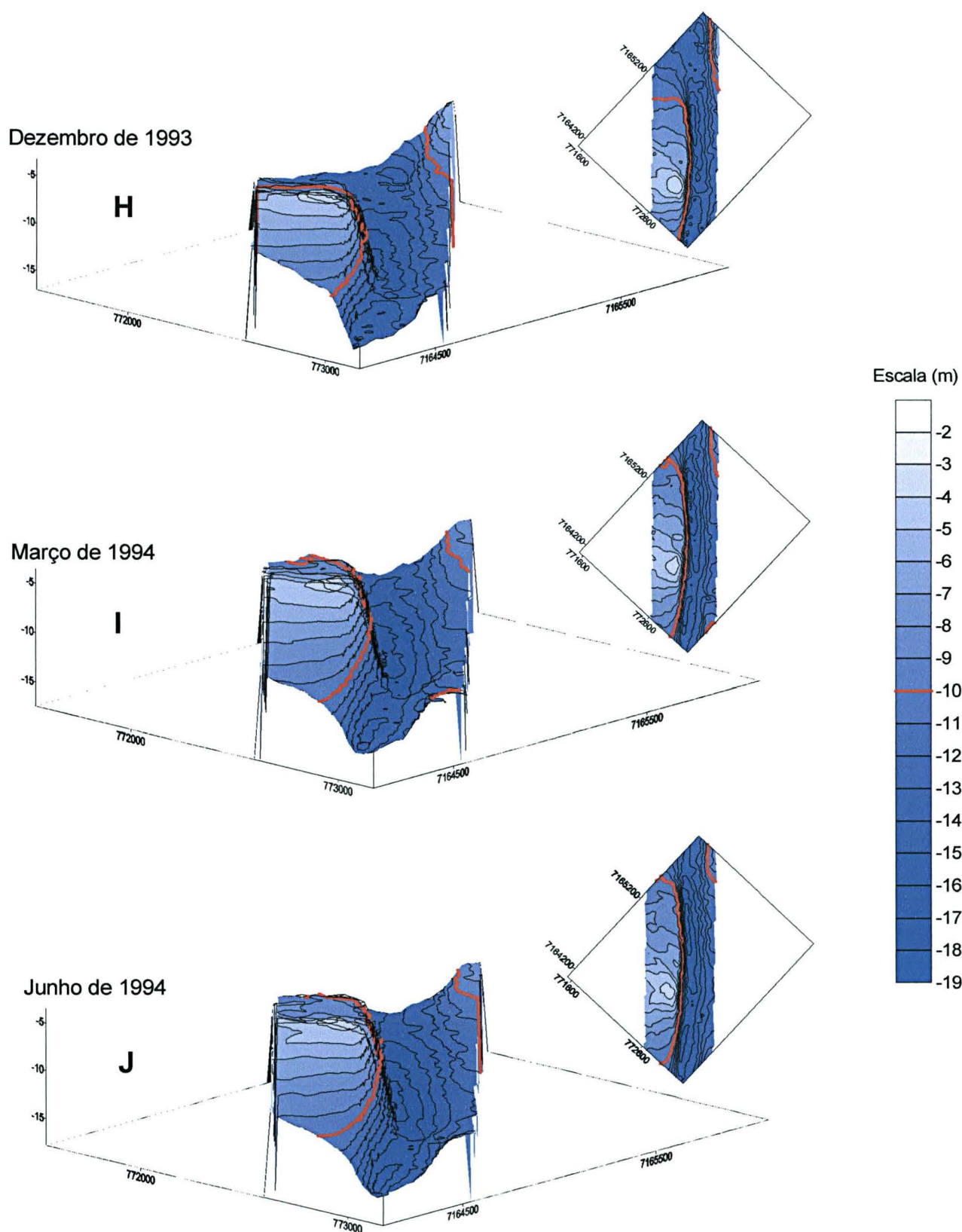


Figura 33 (Continuação): Blocos diagrama do setor externo do canal da Galheta, demonstrando as diferentes superfícies de fundo entre os anos de 1993 e 1994.



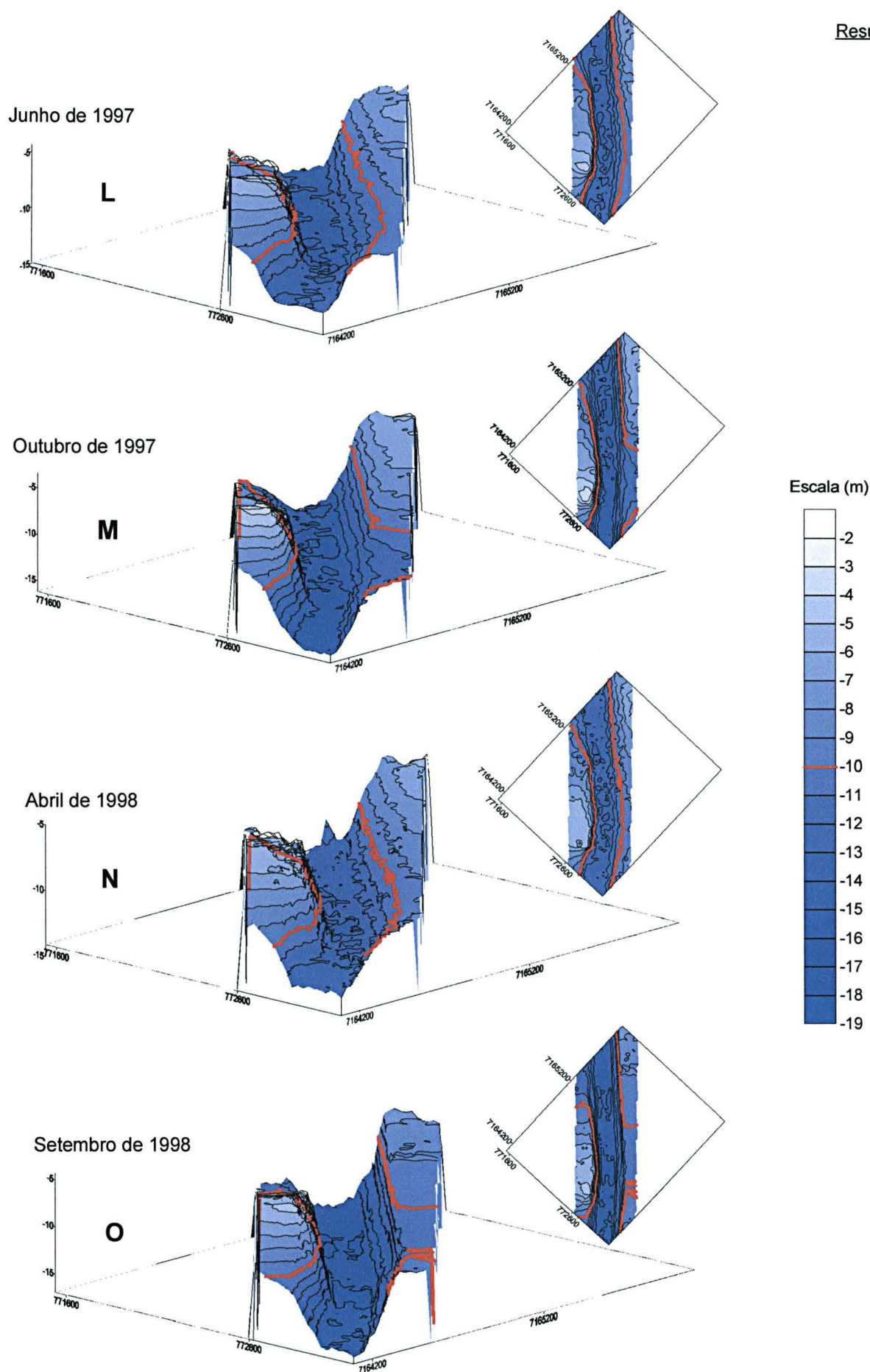


Figura 33 (Continuação): Blocos diagrama do setor externo do canal da Galheta, demonstrando as diferentes superfícies de fundo entre os anos de 1997 e 1998.

Entre 1995 e 1996 foram dragados do setor externo aproximadamente 650.600 m<sup>3</sup> (APPA, inédito). Para o ano de 1997 foram realizadas 2 batimetrias, uma pela DHN (Figura 33L) e outra pela ISOBÁTICA (Figura 33M). No levantamento realizado pela DHN a margem de NE apresenta-se bem definida com o talude mais abrupto que o apresentado em junho de 1994. O canal está deslocado para o quadrante SW, em relação à superfície de junho de 1994.

Na batimetria realizada pela ISOBÁTICA percebe-se que as profundidades do canal aumentaram, e que a margem de SW está praticamente na mesma posição em que estava no levantamento realizado pela DHN, com a diminuição da área do banco. A margem NE está com o talude mais abrupto que na situação anterior, apresentando uma ausência na isóbata 10 m.

Segundo Lamour & Soares (1998) foram dragados do canal da Galheta, entre maio e outubro de 1998, 3.093.426 m<sup>3</sup> em decorrência do aprofundamento do canal realizado nesta ocasião. Os levantamentos realizados em 1998 são referentes aos meses de abril (Figura 33N) e setembro (Figura 33O). Para abril as profundidades apresentam-se menores em relação ao levantamento realizado em 1997 pela ISOBÁTICA. A margem SW está avançada sobre os limites do canal, com uma inclinação de talude mais suave em relação à encontrada anteriormente. A margem de NE também apresenta-se com um talude menos inclinado e definido que na situação de 1997. Os limites do canal, realçados pela isóbata 10 m, mostram um contorno semelhante ao do levantamento realizado pela DHN.

Em setembro de 1998 as margens do canal voltaram a ficar definidas com taludes abruptos. A margem SW está recuada em relação à de abril, com um talude mais inclinado. Ainda persiste a curvatura do canal, porém com menor ângulo. O banco apresenta-se com uma área menor que a do levantamento de abril.

De uma forma geral a margem NE ficou ausente em vários levantamentos, sendo que a forma curvilínea do canal passou a aparecer a partir de 1991. À medida que a frente de sedimentos do quadrante SW avança sobre os limites do canal a margem NE avança para este quadrante, sendo por vezes erodida e não constando no enquadramento da batimetria. A inclinação do talude NE tem relação direta com a intensidade de avanço da frente SW. Quanto mais avançada a margem SW, mais inclinado o talude NE.

### 6.4.2 Setor Interno

O levantamento batimétrico de junho de 1972 faz parte dos primeiros estudos feitos para a abertura do canal da Galheta. No bloco diagrama gerado a partir destes dados (Figura 34A), observa-se na margem NE uma área mais rasa que o restante desta seção. A porção mais profunda localizada na margem SW é a porção final do canal da Cotinga, enquanto que o talude frontal do bloco diagrama é o início do setor autolimpante.

A exemplo do que ocorreu no setor externo do canal, o setor interno também foi dragado gradativamente até sua abertura completa em 1975. Neste ano o canal apresenta-se bem definido com taludes abruptos, e com forma retilínea (Figura 34B). Ambas as margens apresentam áreas com profundidades reduzidas. Na margem SW as profundidades no final do canal da Cotinga foram reduzidas em aproximadamente 2 m.

O setor interno foi dragado após junho de 1984 (APPA, inédito). O levantamento batimétrico desta ocasião (Figura 34C), representa uma situação pré-dragagem pelas profundidades reduzidas que se apresentam. Neste ano o canal foi parcialmente obstruído pelas barras localizadas nas margens (Figura 34C). Em ambos os lados do canal podem ser observadas áreas mais rasas que o restante sendo unidas por um banco arenoso. As profundidades estão bastante reduzidas em relação à situação encontrada em 1975. O final do canal da Cotinga apresenta-se mais raso que na situação de 1975. No início do setor autolimpante o talude está com inclinação mais suave que às de 1975, devido às menores profundidades no centro do canal. Nesta situação, o canal apresenta-se com a largura bastante reduzida, constatada pela observação da isóbata 12 m.

O levantamento batimétrico de abril de 1993 (Figura 34D) representa uma situação pré-dragagem.

Apesar da superfície de abril de 1993 estar com as profundidades reduzidas, durante todo este ano houveram dragagens, sem localização definida nos arquivos da APPA. A superfície de 1993 (Figura 34D) apresenta-se com as profundidades bastante reduzidas, e com larguras ainda mais reduzidas que as presentes em 1975. Verificando-se um estrangulamento dos limites do canal. As margens apresentam-se com taludes suaves, enquanto que o final do canal da Cotinga manteve-se estável.

Durante janeiro e março de 1994, foram realizadas dragagens no canal (APPA, inédito). Para o levantamento realizado em março de 1994 (Figura 34E), o canal está bem definido com forma retilínea. O banco da margem SW teve sua área reduzida na porção mais interna do estuário. O canal encontra-se com profundidades maiores que as da situação de 1993.

Segundo a APPA (inédito) foram dragados do setor interno do canal da Galheta, entre 1995 e 1996, aproximadamente 152.500 m<sup>3</sup>.

Em 1998 as dragagens foram realizadas entre maio e setembro (Lamour & Soares, 1998). Neste ano foram realizadas dois levantamentos batimétricos, sendo um em abril (Figura 34F) e outro em setembro (Figura 34G). Na batimetria de abril (situação pré-dragagem) observa-se uma superfície com profundidades bastante reduzidas, em relação às apresentadas na batimetria de 1994. Na margem NE o banco apresenta-se mais raso que em 1994, sendo que nesta margem o bloco diagrama está mais raso que a margem SW. O final do canal da Cotinga não está mais presente nesta superfície. O canal está deslocado para o quadrante SW, com uma melhor formação da margem NE.

Para setembro de 1998 (situação pós-dragagem) o canal apresenta-se com margens bem definidas, pela isóbata 12 m. As áreas rasas estão ampliadas em ambas as margens do canal.

Em linhas gerais o setor interno do canal apresenta assoreamento em um trecho específico, ocasionando um estrangulamento da calha. Após a escavação do canal o final do canal da Cotinga teve suas profundidades diminuídas em relação às apresentadas sem a presença do canal. O início do setor autolimpante sofreu uma modificação na inclinação do talude quando ocorreram as modificações no canal.

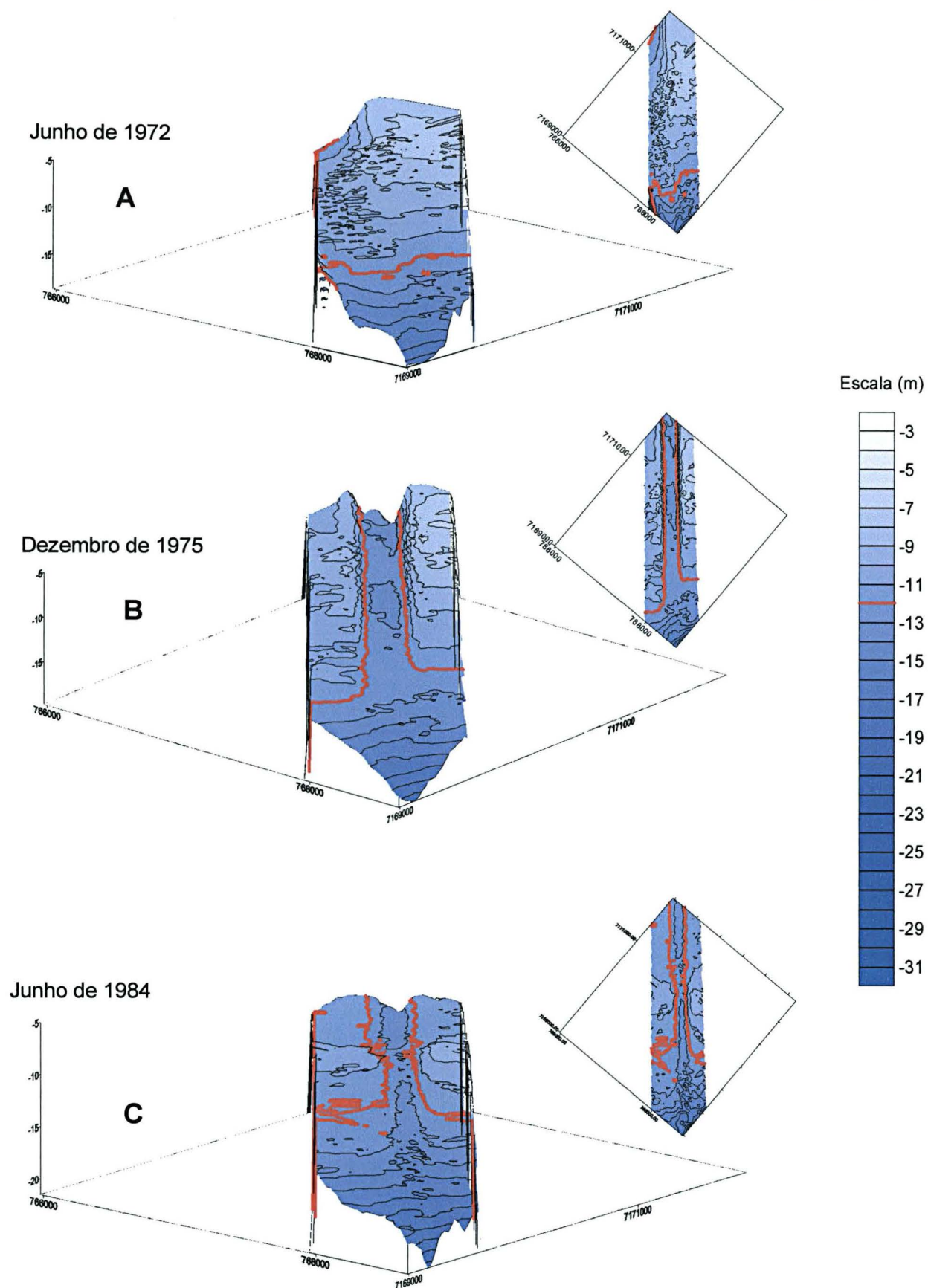


Figura 34: Blocos diagrama demonstrando as variações morfológicas ocorridas no setor interno do canal da Galheta entre os anos de 1972 e 1984.



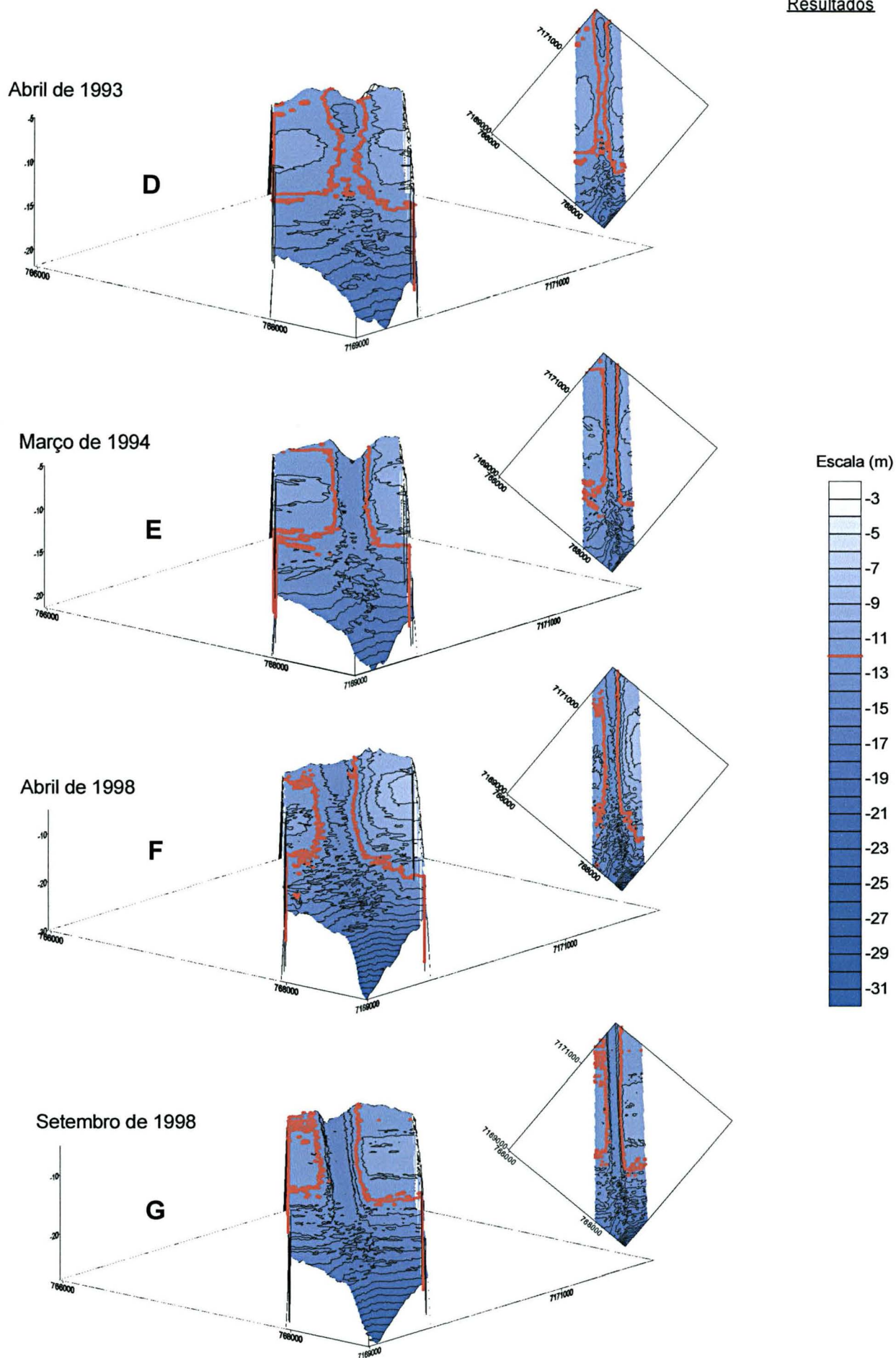


Figura 34 (Continuação): Blocos diagrama demonstrando as variações morfológicas de fundo do setor interno do canal da Galheta entre os anos de 1993e 1998.



## 6.5 Balanço Volumétrico

### 6.5.1 Canal da Galheta

No setor externo, para a abertura do canal foram retirado 5,4 milhões de m<sup>3</sup>. Desde então, o volume do canal foi aumentado progressivamente até alcançar 11,1 milhões de m<sup>3</sup>, ou seja ou dobro do tamanho inicial. (Tabela 8).

**Tabela 8:** Volume do canal da Galheta, no setor externo em relação a superfície batimétrica original de Maio de 1972

<b>Data da batimetria</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Maio de 1972</b>	0,0
<b>Dezembro de 1975</b>	-5.407.376,7
<b>Agosto de 1978</b>	-6.555.843,4
<b>Janeiro de 1983</b>	-9.586.743,4
<b>Junho de 1991</b>	-8.840.110,0
<b>Abril de 1993</b>	-9.077.576,7
<b>Junho de 1993</b>	-9.091.110,0
<b>Dezembro de 1993</b>	-9.567.910,0
<b>Março de 1994</b>	-9.510.043,4
<b>Junho de 1994</b>	-10.030.576,7
<b>Junho de 1997</b>	-8.919.710,0
<b>Outubro de 1997</b>	-10.020.243,4
<b>Abril de 1998</b>	-8.186.276,7
<b>Setembro de 1998</b>	-11.080.143,4

Ainda no setor externo, a evolução dos volumes do canal (Tabela 8), possibilita a separação de quatro períodos distintos no aumento das profundidades. O primeiro é relacionado à abertura do canal entre 1972 e 1975; o segundo compreendido entre 1978 e 1983, onde o volume foi ampliado em torno de 4,2 milhões de m<sup>3</sup>; o terceiro compreendido entre 1983 e 1994, onde os volumes mantêm-se com pequenas variações; e o quarto entre 1994 e 1998, com os maiores volumes do canal até hoje (Tabela 8). O aumento de volume do canal, em

aproximadamente 2,9 milhões de  $m^3$  no levantamento de 1998, é resultado do aprofundamento do canal em 1 m.

No setor interno, constata-se quatro períodos de aprofundamento do canal (Tabela 9). O primeiro, correspondendo a abertura do canal, entre 1972 e 1975, que aumentou seu volume em aproximadamente 2,8 milhões de  $m^3$ ; o segundo, entre 1975 e 1984, onde o canal foi novamente ampliado em aproximadamente 3,7 milhões de  $m^3$ ; o terceiro, onde o volume do canal manteve-se entre 6 e 7 milhões de  $m^3$  até 1998; o quarto período, onde o volume foi ampliado em aproximadamente 3 milhões de  $m^3$ .

**Tabela 9:** Volume do canal da Galheta no setor interno, em relação a superfície batimétrica original de Maio de 1972.

<b>Data da batimetria Pós-dragagem</b>	<b>Diferença acumulada</b>
<b>Junho de 1972</b>	0,0
<b>Dezembro de 1975</b>	-2.804.266
<b>Junho de 1984</b>	-6.550.600
<b>Abril de 1993</b>	-6.128.533
<b>Março de 1994</b>	-6.983.033
<b>Abril de 1998</b>	-6.263.766
<b>Setembro de 1998</b>	-9.338.933

Usou-se como critério para a determinação dos volumes e das taxas de sedimentação a comparação dos dados de duas batimetrias, uma posterior e outra anterior a duas dragagens seqüenciais. É importante frisar que há a necessidade de um período de ausência de dragagem, entre estes dois levantamentos batimétricos. Foram encontrados apenas dois períodos no setor externo, que correspondem a estas características (Tabela 10).

No período compreendido entre dezembro de 1993 e março de 1994 com um maior grau de confiabilidade, por ser de pequena amplitude de tempo com a certeza de que não foram realizadas dragagens entre os levantamentos batimétricos.

O grande volume encontrado no intervalo de agosto de 1997 e abril de 1998, deve ser também considerado pois, os levantamentos batimétricos correspondem aos critérios exigidos para o cálculo das taxas de assoreamento.

Tabela 10: Volumes e taxas de assoreamento nos setor externo do canal da Galheta.

<b>Período</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Intervalo (meses)</b>	<b>Taxa (m<sup>3</sup>/mês)</b>
<b>Setor externo</b>			
Dezembro de 1993 à Março de 1994	57.866,6	3	19.288,8
Agosto de 1997 à Abril de 1998	1.833.966,7	8	229.245,8

Grande parte dos dados foi descartada por não atender aos pré-requisitos básicos para a determinação das taxas de assoreamento. Outros levantamentos batimétricos são necessários para a confirmação destas taxas, bem como, para novas determinações

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1 Dinâmica de Circulação dos Sedimentos no Delta

A deriva longitudinal predominante no litoral paranaense, na direção norte, é destacada pela morfologia das desembocaduras fluviais (Bigarella *et al.*, 1966) e dos deltas de maré vazante (Angulo, 1993). Apesar da pequena área amostral, a análise de minerais pesados ao longo da praia do balneário Pontal do Sul, também indicaram esta direção pois o teor de minerais ultraestáveis aumenta de sudoeste para nordeste (Figura 23).

A parte sul do delta de vazante é mais desenvolvida que a parte norte. Isto pode ser atribuído ao efeito molhe hidráulico das correntes de maré vazante, que criam um maior espaço de acomodação para os sedimentos transportados de sul pela deriva litorânea. A deriva também provocaria a migração do delta para NE, continuando uma tendência verificada para o Holoceno superior (Lessa *et al.*, 2000). Atualmente a migração da desembocadura sul da baía de Paranaguá para NE é dificultada pelos pontais rochosos da parte sul da Ilha do Mel (Figuras 24 e 25).

Antes da abertura do canal da Galheta os sedimentos provavelmente deslocavam-se para o norte, através do lobo terminal do delta (Figura 35), suficientemente raso para que as ondas e as correntes geradas por estas transportassem os sedimentos. Com a dragagem do canal criou-se uma armadilha para os sedimentos. Os provenientes de sul caem no canal, o que é evidenciado pelo grande volume de sedimentos que obstrui e desvia para NE o eixo do canal. Parte destes sedimentos podem ser transportados pelas correntes de maré vazante para locais mais profundos, fora do alcance da ação das ondas ou onde o efeito delas é menor, e assim perdidos total ou parcialmente do sistema costeiro. Ambos processos criam um déficit de sedimentos ao norte do canal, que pode afetar a dinâmica das praias e deltas de maré ao norte do canal. Embora Paranhos *et al.*, (1994) concluam que não há relação direta entre os processos de sedimentação em Pontal do Sul e a erosão da Ilha do Mel, interações mais complexas entre estes processos não devem ser descartadas.

Outro aspecto que deve ser considerado é que na região existem duas frentes de ondas principais (S-SE e E-NE; Portobrás, 1983). Embora a resultante seja para NE, há importante movimentação de sedimentos para SW durante períodos em que

atuam as ondas de E-NE. Soares *et al.* (1997) verificaram áreas críticas de assoreamento, por sedimentos provenientes de NE no canal da Galhetas no trecho compreendido entre as bóias 6 e 8 (Figura 35). Assim, o canal também constitui uma armadilha para os sedimentos vindos de NE aumentando o déficit de sedimentos no sistemas costeiro.

A partir da dragagem, a posição das margens do canal foi condicionada pela ação antrópica. Inicialmente o canal era retilíneo com orientação NW (Figura 33B). A entrada de sedimentos provenientes de SW flexionou o eixo do canal para NE (Figura 33D), provocando a erosão da margem NE. As dragagens posteriores procuraram retificar a margem SW do canal, porém esta sempre manteve pequena inflexão (Figura 33E), sendo que após a dragagem a margem NE migra para SW, provavelmente pela entrada de sedimentos provenientes de NE. Pode-se observar que estes processos repetem-se a cada nova dragagem (Figuras 33F, G, H, I, J, L, M, N, e O).

As autoridades portuárias determinaram diferentes áreas para a deposição do material dragado. Algumas áreas localizavam-se ao sul do canal da Galheta, na porção SW do banco da Galheta. Outro local escolhido foi o Banco dos Ciganos (Soares *et al.*, 1997; Figura 1), situado entre a desembocadura norte da baía de Paranaguá e canal do Superagui, que possui profundidades inferiores a 4 m. Mais recentemente, Soares *et al.* (1997) determinaram uma área a 5,3 milhas náuticas (9,8 km) da costa, medidas a partir do balneário Pontal do Sul no azimuth 110° a partir da Ilha da Galheta, com profundidades inferiores a 17 m (Figura 36). Assim, inadvertidamente com o despejo do material de dragagens em áreas rasas ao norte do canal da Galheta, pode estar sendo criado um *by pass*, que poderia restabelecer parcialmente o déficit de sedimentos causado pela dragagem.

A nova configuração do fundo nas áreas de despejo pode interferir no padrão de ação de ondas e correntes propiciando a redistribuição de sedimentos de forma diferente à existente antes da abertura do canal, o que pode provocar mudanças significativas na configuração da linha de costa, tais como as observadas na Ilha do Mel (Paranhos *et al.*, 1994) e na desembocadura do canal do Superagui (Angulo 1993). Contudo, outros fatores tais como a mobilidade natural dos deltas de maré,



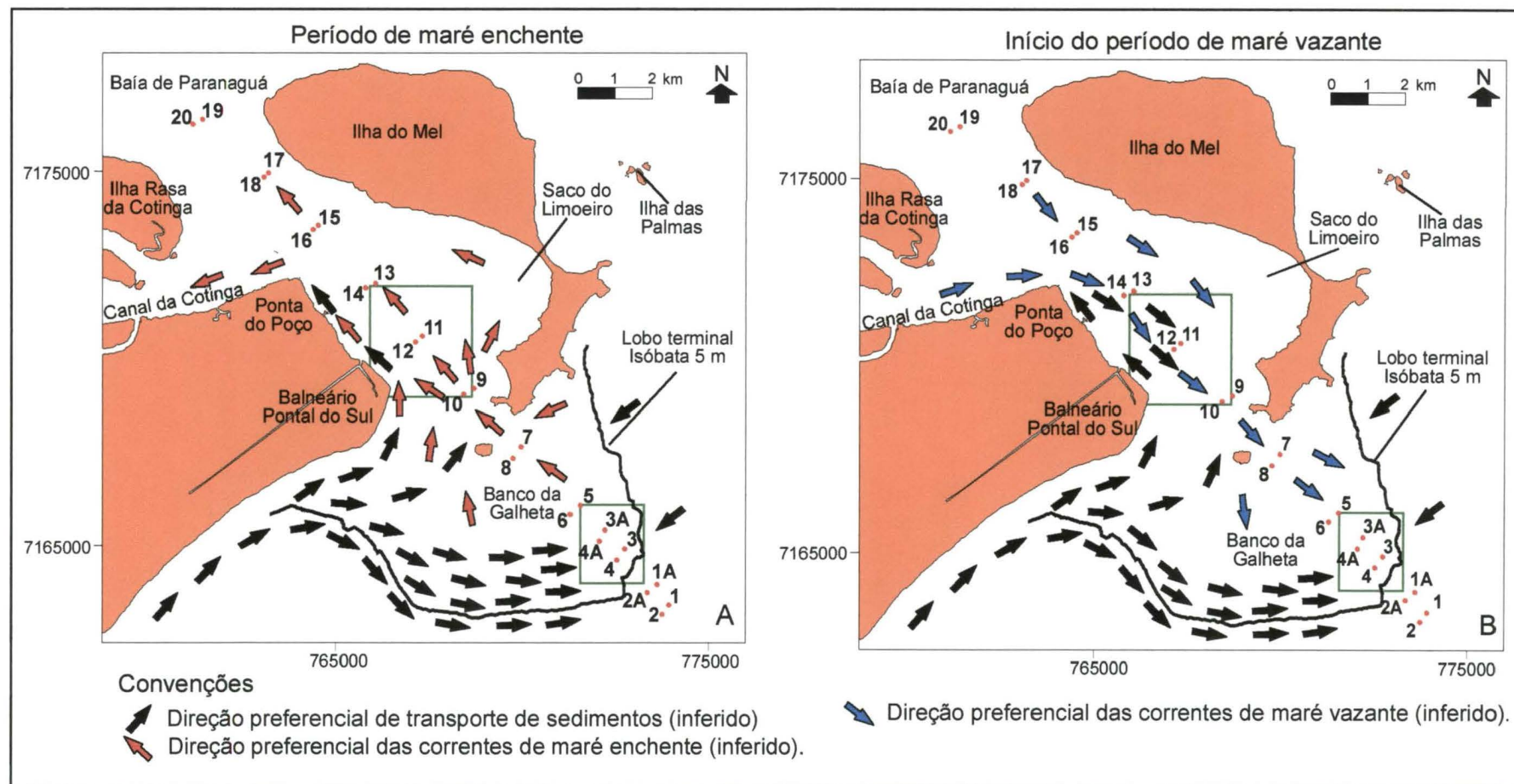
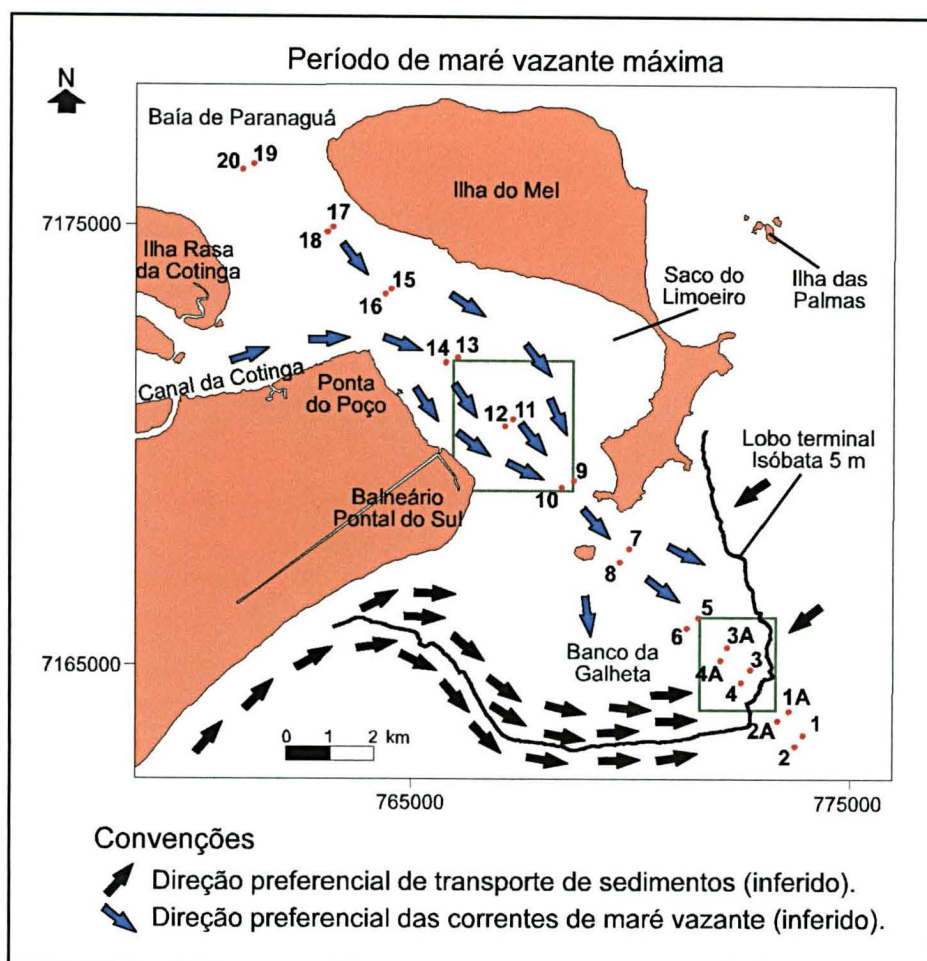


Figura 35: Modelo conceitual da circulação dos sedimentos e das correntes de enchente e vazante, no canal da Gaheta



**Figura 36:** Transporte sedimentar, durante o período de máxima maré de vazante no canal da Galheta.

incluindo o delta da desembocadura norte da baía, por fenômenos interanuais, de dezenas de anos e até seculares, podem contribuir para a variação da linha de costa observadas na área.

Devido a suas pequenas profundidades o banco da Galheta age como um redutor da energia das ondas provenientes de SE. Parte desta energia é transferida aos sedimentos de fundo e convertida em transporte provocando o assoreamento do canal.

Nas margens da baía de Paranaguá, correspondentes ao setor interno do canal da Galheta entre as bóias 9 e 20 (Figura 24), as características morfológicas da costa na margem SW, apresentam esporões arenosos que migram em direção ao interior do estuário, evidenciando a ação efetiva da deriva litorânea (Angulo 1992, 1999; Soares *et al.* 1994). A existência de um canal marginal de enchente do delta

de vazante próximo do balneário Pontal do Sul favorece o transporte de sedimentos em direção ao interior do estuário (Figura 26).

Na margem NE, correspondente ao Saco do Limoeiro observa-se um esporão submerso, que foi interpretado por Angulo (1999) como o esporão de vazante de um delta de enchente, que evidenciaria a ação efetiva das correntes de vazante nesta margem do canal.

Quando da abertura do canal foi aproveitado o canal principal de vazante do delta de maré. Todo o canal foi escavado seguindo a orientação deste canal. Este canal tem uma de posição assimétrica em relação a desembocadura sul da baía, condicionada pela presença dos pontais rochosos da Ilha do Mel, e da Ilha da Galheta.

Antes da dragagem, entre as pontas do Poço e Caraguatá o canal apresentava uma forma sinuosa (Figura 24). A margem SW do canal estava próxima ao balneário Pontal do Sul e, na margem NE existia um banco arenoso próximo as bóias 11 e 12 (Figura 24).

A ocorrência deste banco esta provavelmente associada a maior largura existente entre as margens do estuário e conseqüente diminuição da velocidade das correntes de maré.

As dragagens para abertura do canal da Galheta escavaram neste trecho um novo canal retilíneo e localizado mais a NE (Figura 25). Este novo canal seccionou o banco em duas porções, criando-se uma armadilha sedimentar, evidenciada pelo assoreamento contínuo do canal neste trecho (Figuras 34A, B, C, D, E, F e G).

Este novo traçado provavelmente mudou a direção das correntes de maré vazante favorecendo o assoreamento da área localizada a SW do canal dragado (Figura 25).

Os sedimentos do banco da Galheta provavelmente têm sua origem nos sedimentos que se deslocam, longitudinalmente à praia, em uma faixa entre a linha de costa e a isóbata 10 metros. Esta afirmação é reforçada pela direção preferencial de deslocamento das correntes de deriva litorânea e pela presença de formas de leito na borda externa do Banco (MSc. Maurício Noernberg, informação verbal). Parte destes sedimentos seriam carregados para o banco, pelas correntes de maré enchente que fluem pelo canal marginal de enchente do delta, localizado próximo a Pontal do Sul (Figura 26). Outra parte dos sedimentos seria transportada para o interior do estuário pelas correntes de deriva litorânea entre Pontal do Sul e Ponta

do Poço. A partir deste último ponto os sedimentos seriam redirecionados para o banco pelas correntes de maré vazante provenientes do canal da Cotinga (Figura 25). Em ambos os setores os índices ZTR aumentam em direção ao interior do estuário, indicando uma possível direção de transporte sedimentar neste sentido ao longo do canal.

## 7.2 Formas de Leito e Características dos Sedimentos

Antes da dragagem, existia no canal entre as bóias 9 e 14, um campo de ondas de areia (*sandwaves*) (Figura 27). Este campo de dunas provavelmente está associado a uma diminuição da velocidade das correntes, devido a maior largura do estuário neste trecho. Embora não seja possível reconhecer o sentido de avanço destas feições, pode-se inferir que estas formas migrem em direção leste, pois estão localizadas no canal principal de vazante onde as correntes de vazante são mais intensas.

Na área onde se formam as ondas de areia o diâmetro médio dos sedimentos gradam de areia fina (0,125 – 0,250 mm de diâmetro) para areia média (0,250 – 0,500 mm de diâmetro). As correntes máximas de vazante na superfície são de 97 cm/seg. Com base no diagrama de Rubin & McCulloch (1980; Figura 7), constata-se que o campo de pequenas marcas onduladas aumenta em relação aos sedimentos mais finos. Provavelmente existam pequenas marcas onduladas na área com areia fina, próxima as bóias 11 e 12, que não podem ser observadas através da análise da batimetria. Quanto mais raso o fluxo, menor a variação das velocidades de correntes (50 – 100 cm/s). Provavelmente as correntes de fundo acelerem-se entre 50 cm/s em uma profundidade de aproximadamente 10 m, nas bóias 11 e 12, para 175 cm/s, a uma profundidade de 40 m, no setor autolimpante, no período de vazante.

Segundo Duane (1964), valores de assimetria negativos indicam erosão ou não-deposição, enquanto que valores positivos indicam deposição. Pressupõe-se condições naturais, inalteradas do ambiente, o que não é o caso do canal da Galheta. Desta forma, se for aplicado este modelo, para o canal da Galheta onde os valores de assimetria apresentam-se negativos á muito negativos, isto indicaria um ambiente erosivo. Porém, sabe-se com base nos dados de balanço sedimentar que a predominância no canal é de deposição.

### 7.3 Taxas de Sedimentação

No cálculo das taxas de sedimentação do canal da Galheta, no setor externo, nota-se uma disparidade entre os valores obtidos para os biênios 1993/1994 e 1997/1998.

Entre dezembro de 1993 e março de 1994 os levantamentos batimétricos foram realizados pela DHN, o que muito possivelmente homogeneizou a metodologia. Já no caso do intervalo entre agosto de 1997 e abril de 1998, as informações batimétricas são provenientes de duas fontes diferentes (ISOBÁTICA e DHN, respectivamente). A priori a metodologia utilizada, em ambos os levantamentos, é a mesma porém, pode ter havido algum fator metodológico em campo que alterou o resultado.

Outro ponto a ser abordado é que realmente a metodologia utilizada na aquisição de dados foi correta, e assim sendo, que estes dados são corretos. Neste caso um maior volume vazio do canal poderia diminuir a velocidade de correntes de maré propiciando uma maior taxa de assoreamento. Também deve ser considerado, que o balneário Pontal do Sul está em franco processo de erosão desde 1997 (LOGEO, inédito), o que poderia estar fornecendo um maior volume de sedimentos para o transporte sedimentar longitudinal. Desta forma mais sedimentos ficariam aprisionados no setor externo do canal da Galheta.

O volume de assoreamento mensal entre 1997 e 1998 ( $229.245,8 \text{ m}^3/\text{mês}$ ) perfaz aproximadamente 0,099% do volume total do Banco da Galheta ( $231.008.610,7 \text{ m}^3$ ). Esta comparação demonstra que para a determinação de taxas de assoreamento confiáveis, tornam-se necessários maiores estudos neste campo, com um maior grau de confiabilidade dos dados batimétricos, para que se tenha uma confirmação destes valores.



## 8. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

De forma geral os sedimentos de fundo da desembocadura sul da baía de Paranaguá são predominantemente compostos por areias finas, moderadamente à bem selecionadas, com assimetria muito negativa, sendo leptocúrticas no setor externo, e extremamente leptocúrticas à muito leptocúrticas no setor interno.

O aumento das quantidades de minerais ultraestáveis (ZTR), nas praias do balneário Pontal do Sul evidenciam o sentido de deriva litorânea predominante de SW para NE, isto é, em direção do banco da Galheta.

O trecho crítico de assoreamento do setor externo do canal da Galheta foi escavado no lobo terminal do delta de maré vazante. Este trecho era retilíneo quando foi realizada a abertura do canal (1975). A partir de então, o canal sempre apresentou curvatura de seus contornos, apesar das tentativas de retificação. Isto se deve ao transporte sedimentar mais intenso proveniente de SW, sobre o lobo frontal do delta de maré vazante.

No setor interno, a abertura do canal seccionou um banco arenoso alterando a circulação das correntes no interior do estuário. Neste trecho o canal sempre apresentou uma forma retilínea, porém as profundidades diminuíram homogeneamente no eixo navegável.

Com a alteração das correntes de maré houve diminuição da área de abrangência das formas de fundo, de 1972 para 1998.

Com a abertura do canal criaram-se áreas mais profundas propensas a sedimentação. As taxas de assoreamento foram determinadas para o trecho crítico de assoreamento do setor externo do canal. No setor externo, foram quantificadas em 19.288,8 m<sup>3</sup>/mês entre dezembro de 1993 e março de 1994; e 229.245,8 m<sup>3</sup>/mês entre agosto de 1997 e abril de 1998.

Os dados do setor externo, a taxa de sedimentação obtida para o período de agosto de 1997 à abril de 1998, é aproximadamente 11 vezes maior que a do período anterior. Os levantamentos batimétricos utilizados para este cálculo foram realizados por empresas diferentes, o que poderia implicar em alguma diferença metodológica na obtenção dos dados; porém não foram encontradas elementos que pudessem justificar esta grande diferença nos resultados. Aparentemente, trata-se de volumes reais de assoreamento, o que implicaria dizer que existem enormes variações das taxas de sedimentação associados a variações na dinâmica costeira.

Somente a continuidade dos estudos poderá elucidar se o valor obtido é anômalo - talvez induzido por erro metodológico - ou faz parte da complexa dinâmica sedimentar do setor externo do canal da Galheta.

A partir das características dos sedimentos de fundo, da evolução da morfologia do fundo, da morfologia costeira e do padrão de circulação de ondas e correntes, foram inferidos alguns aspectos do padrão de circulação de sedimentos de fundo na área próxima ao trecho do canal estudado:

(a) O fluxo sedimentar proveniente de SW (deriva litorânea), divide-se em duas porções principais, uma que continua transportando os sedimentos para NE, e a outra que adentra o estuário. No setor externo o fluxo passa sobre o lobo terminal do delta de maré vazante, depositando sedimentos no canal, criando uma frente preferencial de sedimentação, que flexiona o eixo do canal para SW.

(b) No setor interno, o fluxo sedimentar contorna a costa do balneário Pontal do Sul, até a desembocadura do canal da Cotinga, onde é redirecionado para o canal da Galheta. A maior área existente no banco interno do canal promove a diminuição da velocidade das correntes e a conseqüente deposição de sedimentos.

Como sugestão para a diminuir as taxas de sedimentação no canal da Galheta, em ambos os setores, poderia ser dragado, a SW do canal, um novo canal paralelo ao da Galheta. Este novo canal funcionaria como armadilha para os sedimentos provenientes de SW, auxiliando a manter a profundidade e a navegabilidade do canal da Galheta por mais tempo. Este canal auxiliar, deveria ser dragado periodicamente para manter seu poder de captura de sedimentos. As dragagens deste canal não interferiram no canal da Galheta, mantendo o acesso ao porto operacional por mais tempo.

Os sedimentos dragados na margem SW deveriam ser depositados além da margem NE do canal da Galheta, de forma a manter o *by pass* para o litoral norte paranaense.

Contudo, estudos mais detalhados devem ser desenvolvidos para determinar a viabilidade desta obra e seus eventuais impactos nas regiões costeiras próximas e sobre o próprio canal.

A estabilidade do delta, ou sua própria formação, deve-se às correntes de maré vazante. A redução dos valores destas poderá promover um maior assoreamento dos canais. Isto pode ocorrer caso o prisma de maré seja reduzido como conseqüência de aterros das áreas marginais à baía. Torna-se necessária

uma fiscalização efetiva destes pontos como parte das medida para uma possível diminuição do assoreamento do canal da Galheta.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.F.P. de; RIBEIRO JUNIOR, P.J. 1996. **Estimativa da distribuição espacial de retenção de água em um solo utilizando Krigagem indicatriz**. Curitiba: Laboratório de Estatística. Depto. Estatística - UFPR. 37 p. Relatório técnico.

ANGULO, R.J. 1992. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo, 334 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

\_\_\_\_\_. 1993. Variações na linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, v. 41, p. 52-72.

\_\_\_\_\_. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. **An. Acad. Bras. Cienc.**, Rio de Janeiro, v. 71, n.4-II. p. 935-959.

APPA. 1999. **Normas de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina**. Disponível em: < <http://www.pr.gov.br/ports/frente.html> >. Acesso em: 02 set.

ARAÚJO, A.D.; ANGULO, R.J.; NOERNBERG, M.A.; ODRESKY, L.L.R. 1999. Levantamento inicial de informações estratigráficas e hidrodinâmicas do Saco do Limoeiro, Ilha do Mel, Estado do Paraná. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO QUATERNÁRIO - ABEQUA, 8., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro : UFBA. 1 CD-ROM.

ASHLEY, G.M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problems. **J. Sediment. Petrol.**, Tulsa, v. 60, p. 160-172.

BIGARELLA, J.J.; FREIRE, S.S.; SALAMUNI, R.; VIANA, R. 1966. Contribuição ao estudo dos sedimentospraisais recentes II – Praias de Matinhos e Caiobá. **Bol. Univ. Fed. Par. Geogr. Fis.**, Curitiba, v. 6, p. 1-113.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; MATOS, D.J. de; WERNER, A. 1978. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná...: um problema de segurança ambiental e nacional**. Curitiba: SEPL/ADEA. 249 p.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1976. **Carta Náutica 1820. Proximidade da Barra de Paranaguá**. 2. ed. Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 819,2 x 1025,8 mm. Escala 1:90.000.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1991. **Carta Náutica 1822. Porto de Paranaguá a Ilha do Mel**. 3. ed., Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 998,7 x 635,3 mm. Escala 1:24.992.

BRASIL. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 1995. **Carta Náutica 1824. Da Barra de Paranaguá a Antonina**. Rio de Janeiro. 1 mapa: color.; 1108,7 x 757 mm. Escala 1:50.000.

CAMARGO, M.G. 1999. **SYSGRAN para windows: sistema de análises granulométricas**. Pontal do Sul. 2 disquetes de 5 1/4.

CARVER, R.E. 1971. Heavy-Mineral Separation. In:\_\_\_\_\_. **Procedures in Sedimentary Petrology**. New York: Wiley-Interscience. p. 427-452.

CHOU, Y. 1997. **Exploring spatial analysis in geographic information systems**. Santa Fe : OnWord Press. 474 p.

CORRÊA, I.C.S.; BAITELLI, R.; KETZER, J.M.; MARTINS, R.; LEITE, F.P.N. 1991. Dinâmica sedimentar da parte oriental da Baía de Paranaguá, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 18 , n.2, p.128-137.

CNISO. 1998. **O Brasil e o mar no século XXI: relatório aos tomadores de decisões do país**. Rio de Janeiro. 408 p.



DALRYMPLE, R.W.; RHODES, R.N. 1995. Estuarine dunes and bars: geomorphology and sedimentology of estuaries. In:\_\_\_\_\_. **Developments in Sedimentology** . Amsterdam : Elsevier Science B.V. p. 359-422.

DALRYMPLE, R.W.; KNIGHT, R.J.; ZAITLIN, B.A.; MIDDELTON, G.V. 1990. Dynamics and facies model of a microtidal sand-bar complex, Cobequit Bay – Salmon River estuary (Bay of Fundy). **Sedimentology**, Oxford, v. 37, p. 1069-1091.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. **J. Sediment. Petrol.**, Tulsa, v. 62, p. 1130-1146.

DAVIS, J.C. 1986. Statistics and data analysis in geology. 2<sup>ed.</sup>, New York: John Wiley ; Sons. 646 p.

DUANE, D.B. 1964. Significance of skewness in recent sediments, Western Pimlico Sound, North Carolina. **J. Sediment. Petrol.**, Tulsa, v. 34, n.4, p. 864-874.

DUCK, R.W. 1986. Botton sediments of Loch Tummel, Scotland. **Sediment. Geol.** Amesterdam, v.47, p. 293-315.

ENCAL. 1972. **Relatório final definitivo execução de levantamento geofísico, visando a implementação do terminal graneleiro, no porto de Paranaguá, PR. setembro de 1972.** Rio de Janeiro: [s.n.]. 138 p.

FRITZ, W.J.; MOORE J.N. 1988. **Basics of physical stratigraphy and sedimentology.** New York : J. Wiley. 371p.

GIANINNI, P.C.F. 1993. **Sistemas deposicionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC.** São Paulo. 278 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

GUIMARÃES, M.R.F.; MARONE, E. 1996. **Oceanografia física com ênfase em ambientes estuarinos.** Curso proferido CEM, UFPR; Pontal do Paraná; ago.

HAYES, M.O. 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries. In: CRONIN, L.E. **Estuarine research, geology and engineering**. New York : Acad. Press, v. 2, p. 3-22.

HAYES, M.O. 1980. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. **Sediment. Geol.**, Amesterdam, v.26, p. 139-156.

HICKS, D.M.; HUME, T.M. 1996. Morphology and size of ebb tidal deltas at natural inlets on open-sea and pocket-bay coasts, North Island, New Zealand. **J. Coastal Res.** Lawrence, v.12 , n.1, p. 47-63.

HICKS, D.M.; HUME, T.M. 1997. Determining sand volumes and bathymetric change on an ebb-tidal delta. **J. Coastal Res.**, Lawrence, v.13, n. 2, p. 407-416.

JOURNEL, A.G. 1988. **Geostatistics for enviromental science**. Las Vegas: Enviromental Protection Agency. 180p.

KECKLER, D. 1995. **Surfer for windows, user's guide – version 6**. Golden: Software, Inc. Golden. cap. 15, p.4.

LAMOUR, M.R.; SOARES, C.R. 1998. **Cálculo dos volumes a serem dragados para o aprofundamento do Canal da Galheta entre maio e outubro/1998**. Pontal do Sul: UFPR. 21 p. Relatório do convênio APPA/CEM.

LANA, P.C.; MARONE, E.; LOPES, R.M. & MACHADO, E.C. 2000. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: : SEELIGER, U.; LACERDA, L.D. & KJERFVE, B. (Ed.), **Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. Basel: Springer Verlag, 2000. p. 131-145.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J. 1995. A framework for the stratigraphy and evolution of the Paranaguá coastal plain-Paraná, Brazil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DO QUATERNARIO, 5., 1995, Niteroi. **Anais...Niterói: ABEQUA.** p. 92-98.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J. 1996. A 3-D evolutionary model of the evolution Paranaguá coastal plain. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador : SBG. v.5, p. 251-255.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.F.; ARAÚJO, A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Mar. Geol.**, Amsterdam, v. 165, p. 87-108.

Universidade Federal do Paraná. **Centro de Estudos do Mar: Laboratório de Física Marinha – LFM.** Disponível em : < <http://cem.ufpr.br/fisica/Bpqua.html> >. Acesso em: 10 out. 1999.

MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M.A.; KLINGENFUSS, M.S.; LAUTERT, L.F.C.; PRATA JUNIOR, V.P. 1997. **Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá.** Pontal do Sul: UFPR. v. 2. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM.

MARONE, E.; NOERNBERG, M.A.; MANTOVANELLI, A.; LAUTERT, L.F.C.; KLINGENFUSS, M.S.; PRATA JUNIOR, V.P.; QUADROS, C.L.; MARTINS, G.J. 1999. **Cartas de correntes de maré da baía de Paranaguá.** Pontal do Sul: UFPR. Relatório técnico do convênio APPA/CEM.

PARANHOS FILHO, A.C.; SOARES, C.R.; ANGULO, R.J. 1994. Nota sobre a erosão da Ilha do Mel. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, v. 42, p.153-159.

PICKARD, G.L.; EMERY, W.J. 1990. **Descriptive physical oceanography: an introduction.** 5. ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 320 p.

PORTOBRÁS. 1983. **Relatório de apresentação das medições meteorológicas observadas em Pontal do Sul, Paranaguá – PR, período set. 1982 a dez. 1986.** Rio de Janeiro : INPH. 189 p.

RIBEIRO JUNIOR, P.J. 1995. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ- Universidade de São Paulo.

RUBIN, D.M.; McCULLOCH, D.S. 1980. Single and superimposed bedforms: a synthesis of San Francisco bay and flume observations. **Sediment. Geol.** Amsterdam, v. 26, p. 207-231.

SOARES, C.R. 1990. **Natureza dos sedimentos da superfície de fundo das Baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba – Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (Estado do Paraná – Brasil)**. Rio Claro. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de São Paulo.

SOARES, C.R.; PARANHOS FILHO, A.C.; SOUZA, M.C.; BRANCO, J.C.; FABIANOVICZ, R.; PRAZERES FILHO, H.J.; KOGUT, J.S. 1994. Variações da linha de costa no Balneário Pontal do Sul (PR) no período 1953-1993: um balanço sedimentar. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, n. 42, p. 161-171.

SOARES, C.R.; LESSA, G.C.; GOTTARDI NETO, A.; RIESEMBERG, C.E.; SILVA, C.B. 1996. Caracterização da distribuição dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina, Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais ...** Salvador : SBG. v. 3, p. 390-396.

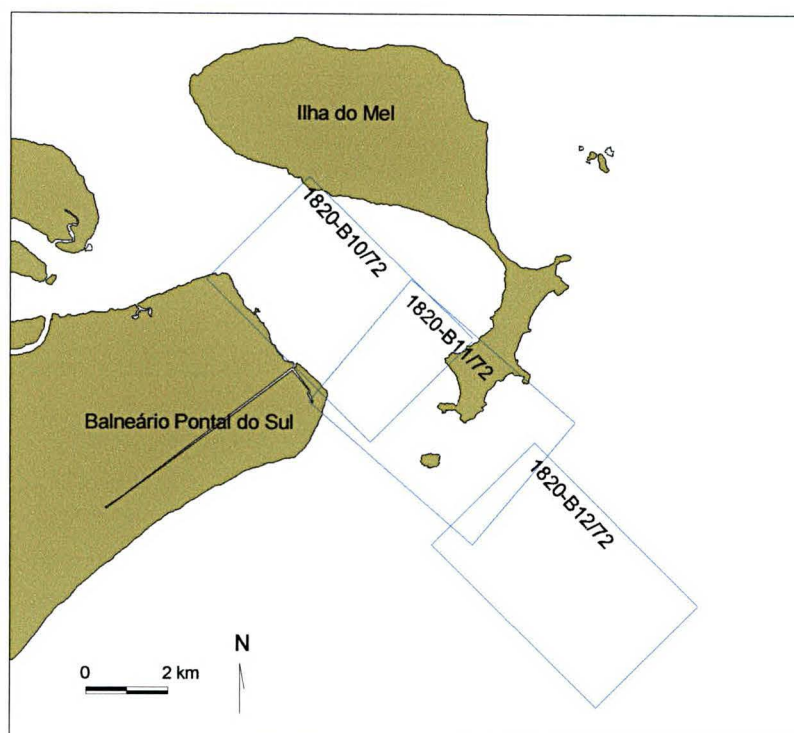
SOARES, C.R.; MARONE, E.; LAMOUR, M.R.; CARRILHO, J.C.; NOERNBERG, M.A. 1997. **Dragagem e aprofundamento do Canal da Galheta, via de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina – PR**. Pontal do Sul: UFPR. 75 p. Relatório consolidado convênio APPA/CEM.

TANNER, W.F. 1995. Environmental clastic granulometry. **Fla Geol Surv Geol. Bull.** Special publication, Tallahassee, n. 40, 142 p.

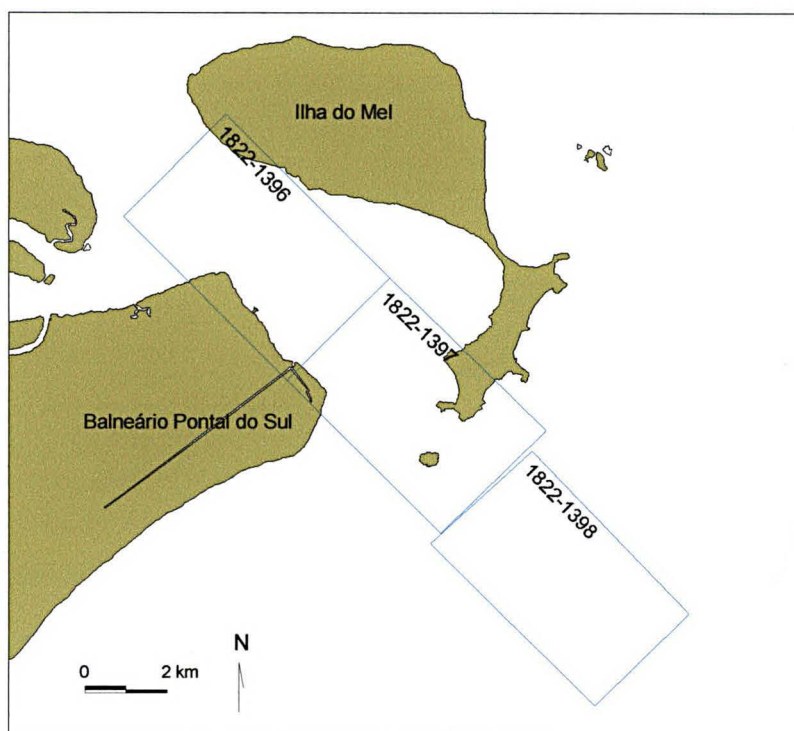
WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **J. Geol.**, Chicago, n. 30, p. 377-392.

# **ANEXOS**

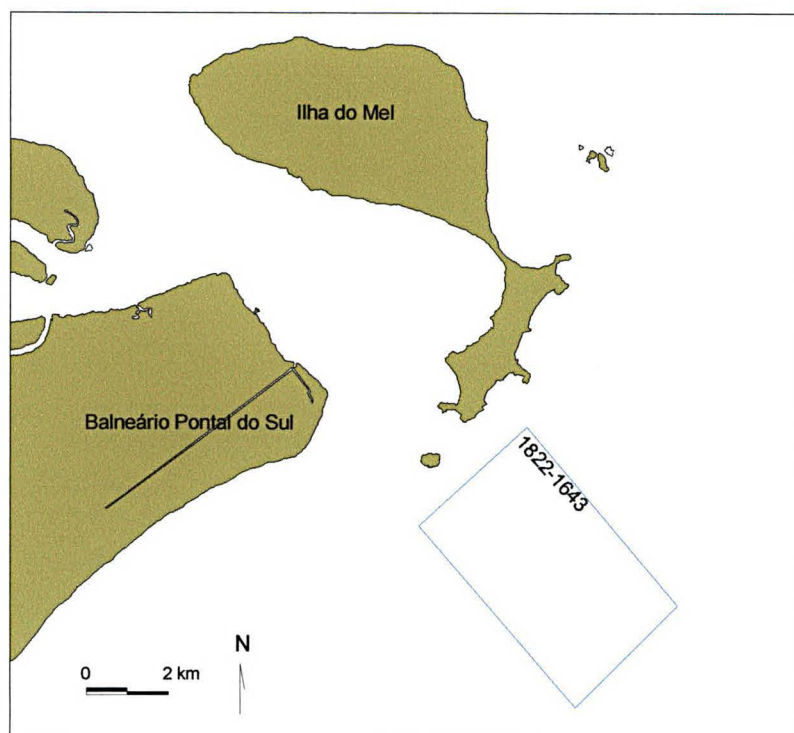




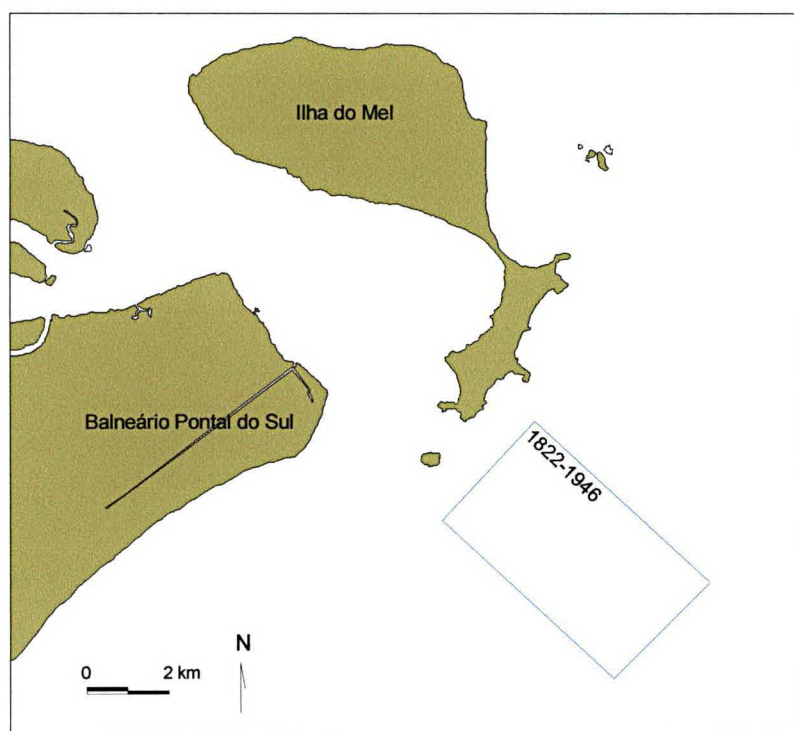
**Figura I.1:** Articulação das folhas de bordo de 1972.



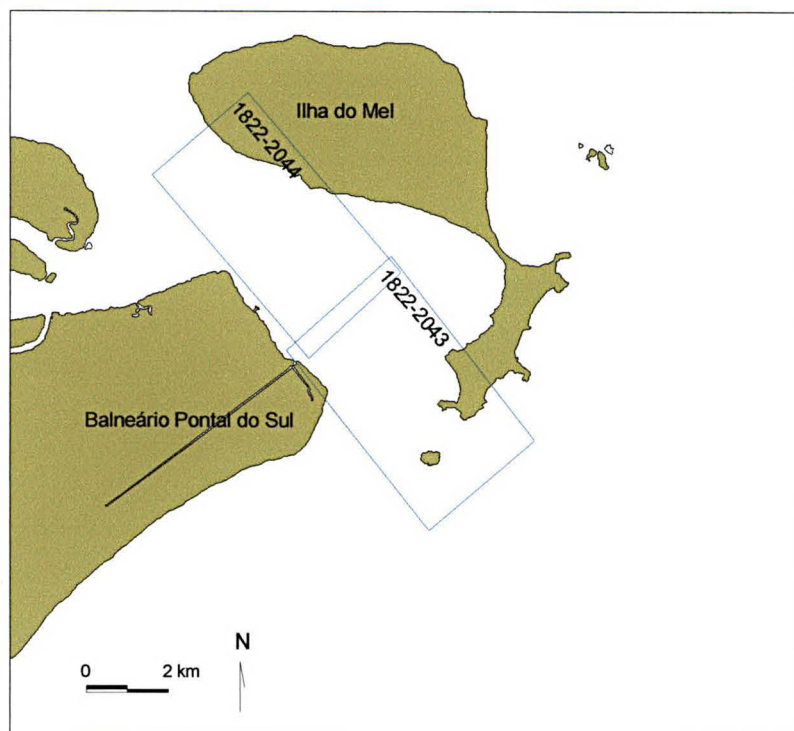
**Figura I.2:** Articulação das folhas de bordo de 1975.



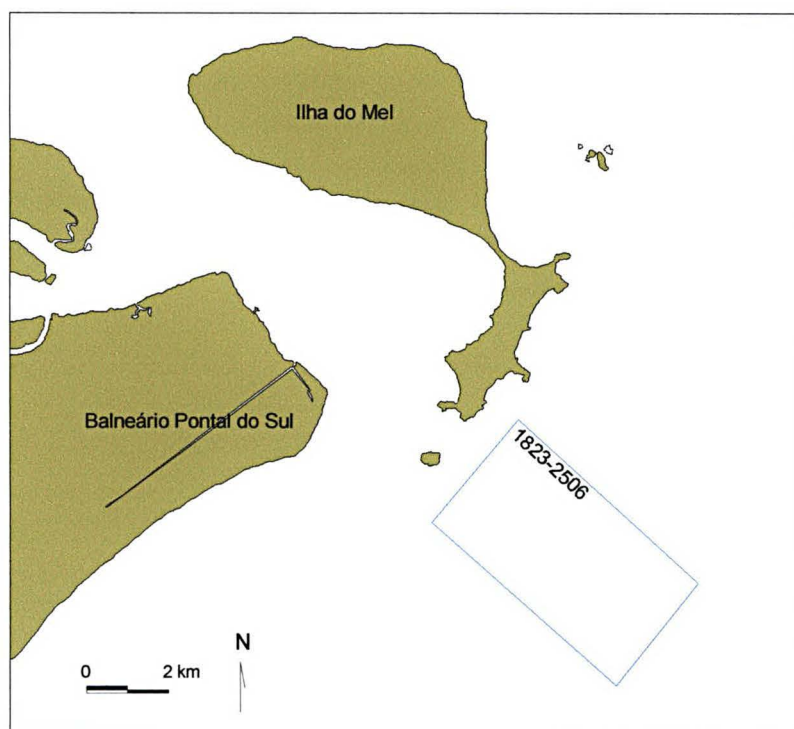
**Figura I.3:** Articulação da folha de bordo de 1978.



**Figura I.4:** Articulação da folha de bordo de 1983.



**Figura I.5:** Articulação das folhas de bordo de 1984.



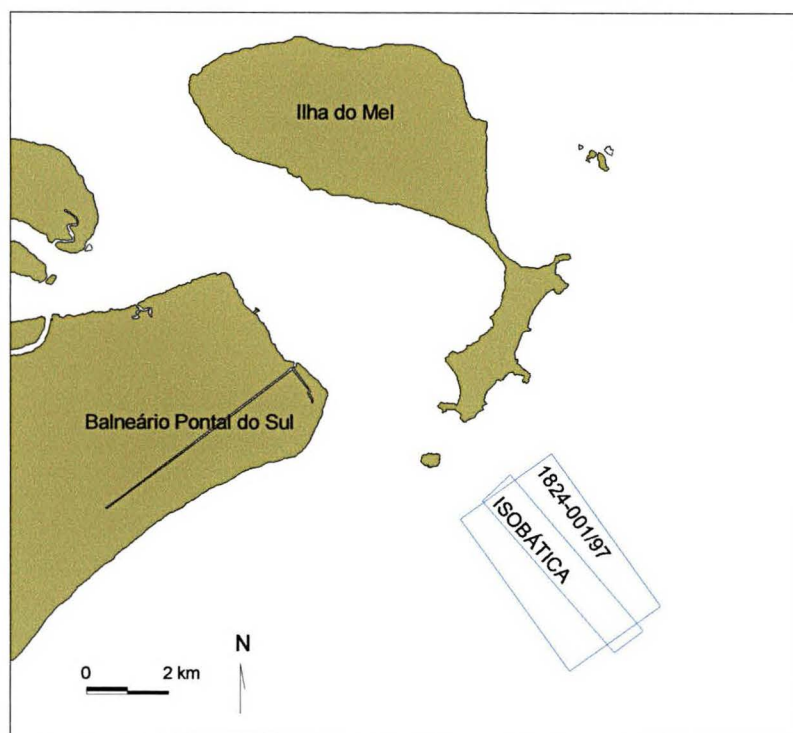
**Figura I.6:** Articulação da folha de bordo de 1991.



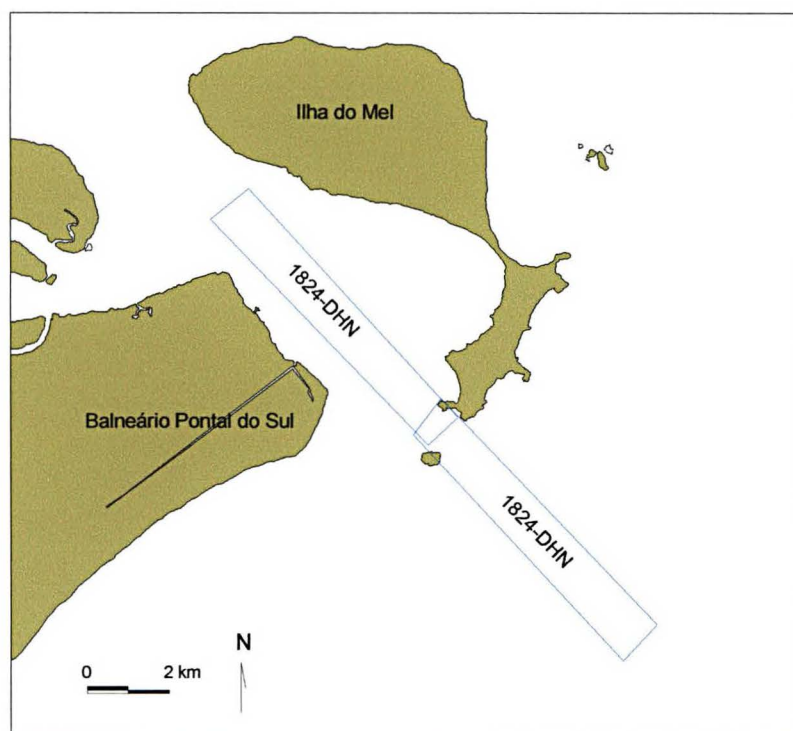
**Figura I.7:** Articulação das folhas de bordo de 1993.



**Figura I.8:** Articulação das folhas de bordo de 1994.

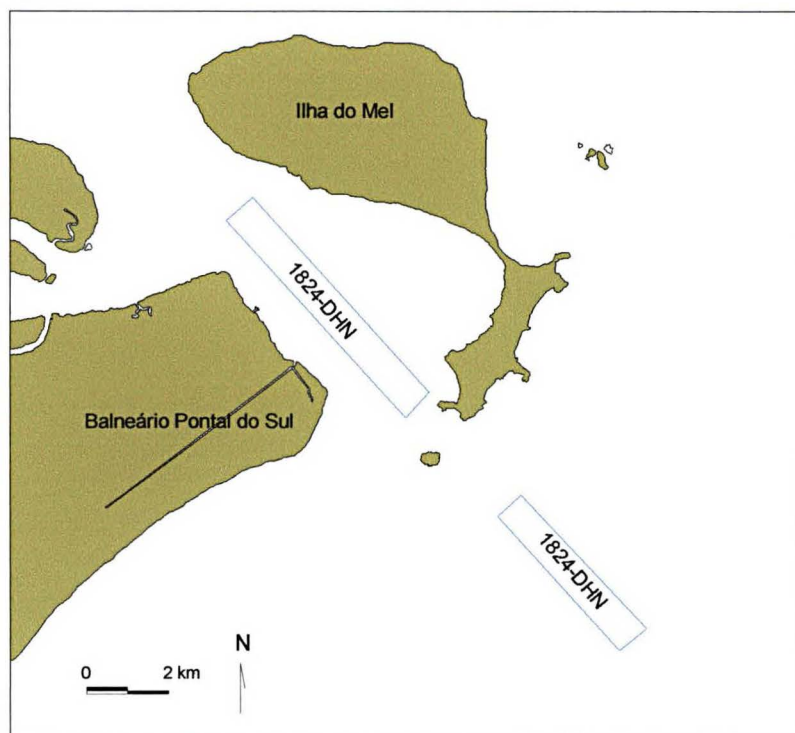


**Figura I.9:** Articulação das folhas de bordo de 1997.



**Figura I.10:** Articulação das batimetrias de 1998, anteriores a dragagem deste ano.





**Figura I.11:** Articulação das batimetrias de 1998, posteriores a dragagem deste ano.

Tabela II.1: Coordenadas (UTM) das amostras coletadas no canal da Galheta.

Pontos	Latitude	Longitude	Pontos	Latitude	Longitude	Pontos	Latitude	Longitude
10PR	7171107	759277	S3	7172207	769327	M44	7176200	761027
11PR	7171321	759309	S4	7170844	769362	M45	7176090	760856
12PR	7171534	759509	S6	7172099	770022	M46	7168250	769103
13PR	7171778	759597	S7	7171502	769120	M47	7168380	769283
14PR	7172999	767947	S8	7172801	769456	M48	7168100	768932
15PR	7172605	767604	S9	7172622	768694	M49	7167490	769886
18PR	7175214	760251	S10	7173416	767383	M50	7167720	770067
19PR	7175572	760817	S11	7172602	767982	M51	7167860	770215
22PR	7174699	762951	S12	7173848	768199	M52	7167250	769680
23PR	7174433	762387	S13	7173530	768362	M53	7167110	769556
24PR	7174140	761599	S14	7173098	769505	M57	7165930	771421
26PR	7173249	761526	M01	7169120	768588	M58	7166120	771625
27PR	7173214	761748	M02	7169250	768782	M60	7165750	771218
30PR	7170483	765913	M03	7169350	768932	M61	7165610	771090
31PR	7170546	767423	M04	7168960	768352	M62	7165300	772103
32PR	7172195	769579	M05	7168880	768237	M63	7165520	772297
33PR	7175203	763967	M06	7169790	767988	M64	7165030	771933
36PR	7175962	761356	M07	7169910	768113	M66	7164990	772831
37PR	7173054	762025	M08	7169660	767817	M67	7165130	772946
38PR	7172731	762856	M09	7170530	767247	M68	7164510	772457
53PR	7169021	766666	M10	7170650	767395	M69	7164390	772353
54PR	7168794	767220	M11	7170750	767520	M70	7164020	773310
55PR	7168906	767780	M12	7170370	767054	M71	7164230	773490
56PR	7168835	768282	M13	7170270	766942	M72	7163790	773116
57PR	7168660	769311	M14	7171220	766532	M73	7163270	773854
58PR	7172215	763992	M15	7171340	766713	M74	7163490	774015
59PR	7172579	764250	M16	7171100	766362	M75	7163680	774150
60PR	7172879	764676	M17	7171970	765929	M76	7163090	773684
61PR	7173090	764931	M18	7172090	766132	M77	7162910	773549
62PR	7173483	765302	M19	7172190	766280	M78	7177480	759630
63PR	7174057	765788	M20	7171820	765702	M79	7177720	759810
73PR	7172886	759619	M21	7171750	765575	M80	7177220	759401
74PR	7170309	759178	M22	7172700	765168	1	7172375	763696
PM01	7169057	769614	M23	7172820	765326	2	7172191	763634
PM02	7169054	769488	M24	7172550	764997	3	7172282	763922
PM03	7169049	769358	M25	7173510	764473	4	7172363	764274
PM04	7169035	769269	M26	7173640	764610	5	7172197	764107
PM05	7169029	769225	M27	7173770	764722			
PM06	7169019	769156	M28	7173360	764292			
PM08	7168997	768989	M29	7173260	764188			
PM09	7168972	768801	M30	7174180	763791			
PM10	7168944	768610	M31	7174320	763949			
PM11	7168896	768262	M33	7174910	763142			
PM12	7168858	768003	M34	7175050	763302			
PM13	7168824	767744	M35	7175160	763427			
PM14	7168794	767501	M36	7174790	762994			
PM15	7168752	767253	M37	7174660	762882			
PM16	7168718	766998	M38	7175610	762154			
PM17	7168687	766739	M39	7175770	762289			
P1 (Box)	7173199	768744	M40	7175430	762004			
P2 (Box)	7173196	769532	M41	7176350	761279			
P 1.1	7171906	768434	M42	7176480	761516			
S2	7172437	769926	M43	7176600	761686			

**Tabela III.1:** Resultados das análises granulométricas das amostras coletadas. AMG - Areia Muito Grossa; AG - Areia Grossa; AM - Areia Média; AF - Areia Fina, e AMF - Areia Muito Fina.

Pontos	Granulo	AMG	AG	AM	AF	AMF	Finos	Total	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
M01	0.014	0.294	1.353	12.588	33.278	2.473	0	50.000	2.289	0.5853	-1.313	6.353
M02	0.000	0.036	0.53	15.137	31.276	3.021	0	50.000	2.287	0.4955	-0.4243	3.769
M03	0.000	0	0.081	13.523	35.679	0.717	0	50.000	2.186	0.3532	0.06269	3.747
M04	0.064	0.07	1.293	10.889	34.273	3.411	0	50.000	2.34	0.5668	-1.245	6.221
M05	0.028	0.119	2.377	20.451	24.062	2.985	0	50.022	2.091	0.6362	-0.3584	3.278
M06	0.006	0.232	2.738	20.132	25.163	1.729	0	50.000	2.013	0.6223	-0.493	3.684
M07	0.395	3.069	30.316	11.827	4.22	0.173	0	50.000	0.8671	0.7417	0.524	3.369
M08	0.087	0.24	1.541	14.899	31.319	1.914	0	50.000	2.15	0.5974	-1.049	5.787
M09	0.000	0.03	0.081	11.334	37.058	1.497	0	50.000	2.272	0.3699	-0.04298	5.016
M10	0.053	0.363	3.706	19.521	25.466	0.891	0	50.000	1.977	0.6104	-1.134	5.337
M11	0.000	0.05	0.552	9.083	39.688	0.627	0	50.000	2.245	0.383	-1.071	7.354
M12	0.134	0.154	0.773	28.128	19.833	0.978	0	50.000	1.966	0.4819	-1.049	10.5
M13	0.154	0.516	3.129	20.922	24.296	0.983	0	50.000	1.933	0.6377	-1.087	5.847
M14	0.076	0.055	0.379	1.844	42.721	4.925	0	50.000	2.65	0.4253	-2.863	19.73
M15	0.076	0.247	0.829	14.801	33.932	0.115	0	50.000	2.09	0.4638	-2.076	12.39
M16	0.207	0.391	1.332	4.84	40.43	2.8	0	50.000	2.392	0.6114	-2.372	11.47
M17	0.026	0.028	0.186	2.3	44.027	3.471	0	50.038	2.524	0.3824	-1.55	12.96
M18	0.070	0.19	1.069	7.647	38.015	3.009	0	50.000	2.394	0.5495	-1.86	9.394
M19	0.190	0.252	2.125	21.272	24.828	1.333	0	50.000	2.022	0.6167	-0.9411	6.214
M20	0.138	0.991	3.539	8.94	32.721	3.671	0	50.000	2.242	0.7919	-1.586	5.609
M21	0.000	0	0.017	0.334	47.459	2.19	0	50.000	2.574	0.2702	0.0302	4.052
M22	0.000	0.092	1.086	4.771	38.232	5.819	0	50.000	2.553	0.5411	-1.616	7.055
M23	0.000	0	0.28	1.879	41.387	6.527	0	50.073	2.741	0.3677	-2.039	10.89
M24	0.045	0.093	0.252	3.214	43.035	3.361	0	50.000	2.563	0.4206	-2.257	15.67
M25	0.019	0.333	1.117	6.008	36.991	5.539	0	50.007	2.484	0.5757	-1.973	9.122
M26	0.000	0	0	0.286	44.251	5.463	0	50.000	2.696	0.2467	0.1978	4.439
M27	0.000	0	0.039	3.004	46.252	0.705	0	50.000	2.347	0.2838	0.1722	4.25
M28	0.000	0.1	0.398	0.832	41.637	7.033	0	50.000	2.715	0.3608	-3.195	22.93
M29	0.000	0.033	0.347	1.52	42.914	5.186	0	50.000	2.704	0.3626	-2.412	14.42
M30	0.000	0	0.028	0.406	45.13	4.469	0	50.033	2.702	0.2668	-0.3261	5.867
M31	0.000	0.003	0.067	0.334	41.918	7.683	0	50.005	2.765	0.2835	-0.9776	9.686
M33	0.000	0.008	0.169	1.411	36.612	11.8	0	50.000	2.805	0.3376	-2.091	13.22

Tabela III.1: Continuação...

Pontos	Granulo	AMG	AG	AM	AF	AMF	Finos	Total	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
M34	0,092	0,137	0,196	0,61	38,125	10,84	0	50,000	2,789	0,3935	-4,76	42,19
M35	0,000	0,042	0,076	1,083	40,281	8,518	0	50,000	2,776	0,3281	-2,051	16,19
M36	0,000	0	2,237	4	27,074	16,689	0	50,000	2,679	0,663	-1,616	5,852
M37	0,000	0,07	0,112	0,527	34,239	10,99	3,75	49,688	3,217	1,295	3,264	13,49
M38	0,000	0,059	0,132	2,349	43,882	3,578	0	50,000	2,607	0,3451	-2,077	14,11
M39	0,000	0,017	0,285	3,186	41,34	5,172	0	50,000	2,647	0,4132	-1,457	7,008
M40	0,000	0,062	0,35	3,315	44,313	1,96	0	50,000	2,51	0,3809	-2,308	13,23
M41	0,000	0,025	0,095	2,332	35,831	11,724	0	50,007	2,741	0,3836	-1,283	7,55
M42	0,128	0,196	0,386	3,399	35,871	10,02	0	50,000	2,679	0,5179	-2,969	18,52
M43	0,218	0,309	0,306	1,266	41,68	6,221	0	50,000	2,655	0,5116	-3,831	25,88
M44	0,000	0	0,008	1,193	25,024	23,666	0	49,891	2,945	0,3118	-1,706	8,424
M45	0,000	0	0	0,625	33,835	15,54	0	50,000	2,912	0,3004	-0,6087	6,348
M46	0,000	0,05	0,457	16,123	32,714	0,656	0	50,000	2,139	0,4	-0,4719	5,475
M47	0,056	0,047	0,333	16,171	32,508	0,885	0	50,000	2,154	0,4245	-0,798	8,598
M48	0,000	0	0,347	2,754	43,316	3,583	0	50,000	2,527	0,3926	-0,9849	7,102
M49	0,000	0	0	0,748	47,6	1,652	0	50,000	2,526	0,2623	0,197	3,452
M50	0,059	0,118	2,759	36,841	10,178	0,045	0	50,000	1,645	0,4882	-0,3538	5,15
M51	0,000	0	0,04	1,102	46,892	1,966	0	50,000	2,584	0,2887	-0,5842	5,265
M52	0,000	0	0,006	1,151	43,528	5,315	0	50,000	2,668	0,3116	-0,4452	3,605
M53	0,000	0	0,081	0,14	38,984	10,844	0	50,049	2,848	0,27	-1,064	11,02
M57	8,014	4,87	14,493	14,339	7,814	0,47	0	50,000	0,7898	1,21	-0,2169	2,003
M58	0,000	0	0,108	5,19	42,583	2,119	0	50,000	2,433	0,3692	-0,358	4,042
M60	0,000	0	0	0,625	47,606	1,769	0	50,000	2,534	0,2655	0,2534	3,893
M61	0,148	0,122	0,058	2,705	45,54	1,504	0	50,077	2,418	0,4046	-2,958	27,09
M62	1,719	0,918	4,708	23,87	18,245	0,54	0	50,000	1,687	0,8531	-1,461	5,719
M63	0,000	0	0,028	5,164	44,485	0,395	0	50,072	2,363	0,2948	-0,2892	3,715
M64	0,000	0,237	2,089	2,726	42,311	2,637	0	50,000	2,474	0,5664	-2,32	9,458
M66	0,000	0	0,056	7,958	40,499	1,487	0	50,000	2,326	0,3654	0,1104	3,191
M67	0,000	0	0,017	0,112	39,673	10,212	0	50,014	2,869	0,2322	-0,5924	8,762
M68	0,000	0	0,064	0,247	44,209	5,48	0	50,000	2,701	0,2872	-0,7062	7,288
M69	0,000	0,022	0,159	0,607	42,276	6,955	0	50,019	2,772	0,3062	-2,206	17,3
M70	0,000	0	0,075	0,168	18,477	16,03	15,25	50,000	3,865	1,478	1,531	4,952

Tabela III.1: Continuação...

Pontos	Granulo	AMG	AG	AM	AF	AMF	Finos	Total	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
M71	0,000	0	0	0,114	41,292	8,594	0	50,000	2,774	0,2917	0,2107	3,581
M72	0,000	0	0,059	0,226	38,634	11,033	0	49,952	2,874	0,2499	-1,229	13,62
M73	0,000	0	0,003	0,128	25,957	23,912	0	50,000	3,025	0,2519	0,05565	6,856
M74	0,000	0	0	0,045	28,807	21,148	0	50,000	3,006	0,232	0,5282	5,029
M75	0,000	0	0	0,037	18,334	25,113	5,75	49,234	3,576	1,476	2,651	8,761
M76	0,000	0	0,011	0,065	26,071	23,853	0	50,000	3,026	0,2359	0,1772	7,857
M77	0,000	0	0	0,64	34,592	14,768	0	50,000	2,897	0,2994	-0,8262	6,695
M78	0,000	0,02	0,101	0,893	27,02	8,716	13,25	50,000	3,609	1,43	1,43	4,664
M79	0,000	0	0	0,157	28,329	14,007	7,25	49,743	3,615	1,707	2,198	6,192
M80	0,000	0,064	0,101	0,571	31,999	13,515	3,75	50,000	3,165	1,064	3,405	16,14
10PR	0	0,02	0,182	4,262	36,468	3,842	5,25	50,024	2,97	1,396	2,675	10,36
11PR	0,26	0,409	0,434	3,304	34,152	56,551	4,5	99,610	3,203	1,188	2,859	15,61
12PR	1,498	2,615	5,13	17,609	56,022	13,297	3,5	99,671	2,47	1,396	1,439	10,52
13PR	0	0	0,109	0,196	8,758	35,543	4,75	49,356	3,537	1,24	2,914	11,32
14PR	1,364	0,336	0,463	1,725	32,464	54,53	9	99,882	3,344	1,5	1,671	9,521
15PR	0	0,202	0,302	1,372	47,219	44,737	6	99,832	3,186	1,007	3,456	19
18PR	0,518	0,417	3,53	11,346	38,608	42,396	3	99,815	2,855	1,208	1,973	13,77
19PR	0	0,045	0,521	2,384	31,407	63,102	2,5	99,959	3,155	0,8829	4,247	28,16
22PR	1,011	1,98	8,977	27,782	51,727	8,019	0,5	99,996	2,107	1,009	0,3939	11,09
23PR	0,249	0,128	0,05	0,073	20,196	78,702	1	100,398	3,246	0,6609	3,917	47,46
24PR	0,165	0,07	0,051	0,093	39,335	54,264	5	98,978	3,262	1,083	3,678	18,66
26PR	1,467	0,207	0,065	0,081	22,179	68,11	7,5	99,609	3,389	1,362	1,583	11,67
27PR	0	0	0	0,14	52,239	41,121	6,5	100,000	3,214	1,032	3,777	17,39
30PR	0	0	0	0,087	31,534	16,069	2,25	49,940	3,004	0,7094	4,127	26,55
31PR	0,42	1,021	0,199	4,805	33,578	7,408	3,75	51,181	2,817	1,576	2,164	10,22
32PR	0	0	0,134	3,595	14,296	25,346	7	50,371	3,452	1,509	2,018	7,013
33PR	0	0	0,034	1,84	34,144	5,007	8,25	49,275	3,442	1,914	1,899	5,101
36PR	0	0	0,017	0,23	8,588	36,755	4,25	49,840	3,516	1,201	2,764	9,447
37PR	0,5	0,27	0,073	0,266	18,464	30,474	0,275	50,322	3,017	0,6502	-3,224	29,51
38PR	0,056	0,089	0,056	0,286	34,57	10,693	4,25	50,000	3,08	1,246	2,777	11,65
53PR	0	0,089	0,277	2,486	37,173	10,004	0	50,029	2,746	0,4188	-2,343	14,08
54PR	0	0,194	1,019	14,227	32,799	1,761	0	50,000	2,278	0,5743	-1,055	5,177



Tabela III.1: Continuação...

Pontos	Granulo	AMG	AG	AM	AF	AMF	Finos	Total	Média	Seleção	Assimetria	Curtose
55PR	1,098	4,348	11,798	23,497	9,271	0	0	50,012	1,157	0,8964	-0,7339	3,496
56PR	0,162	0,344	1,741	11,051	32,026	4,626	0	49,950	2,338	0,6961	-1,497	6,584
57PR	0	0	0	0,174	29,28	18,923	2,25	50,627	3,048	0,7356	4,175	25,42
58PR	0	0	0,126	0,641	27,692	21,561	0	50,020	2,932	0,3414	-1,645	11,58
59PR	0	0	0,014	0,054	30,36	16,758	2,75	49,936	3,114	0,9825	3,958	19,81
60PR	0	0,011	0,457	19,031	20,451	6,863	2,25	49,063	2,442	0,9555	2,281	12,64
61PR	0	0	0,064	0,703	33,285	15,904	0	49,956	2,881	0,3117	-1,06	9,329
62PR	0,115	0,42	0,751	12,032	31,743	4,396	0	49,457	2,36	0,6393	-1,559	7,953
63PR	0	0,112	0,437	2,397	27,16	17,091	2,75	49,947	2,97	0,9787	2,559	14,41
73PR	4,986	3,005	3,449	7,538	15,894	7,33	7,75	49,952	2,403	2,332	0,6912	3,793
74PR	0,123	0,952	5,614	10,396	29,34	3,575	0	50,000	2,144	0,8869	-1,119	3,638
PM01	0	0	0,011	0,101	22,713	27,225	0	50,050	3,023	0,2841	-0,405	4,232
PM02	0	0	0,014	0,067	22,349	27,57	0	50,000	3,058	0,3335	0,08394	3,664
PM03	0	0	0,009	0,215	34,678	15,098	0	50,000	2,886	0,2778	-0,02278	5,3
PM04	0,997	1,665	1,629	1,554	20,445	13,96	0	40,250	2,55	1,106	-2,135	6,814
PM05	0,101	0,686	0,98	1,395	19,39	16,198	11,25	50,000	3,536	1,644	1,021	4,775
PM06	0,526	1,282	5,931	32,318	9,901	0,042	0	50,000	1,487	0,6839	-1,46	6,736
PM08	0	0	0,095	25,774	24,117	0,014	0	50,000	1,976	0,3395	-0,1967	3,016
PM09	0	0,067	0,333	7,148	40,667	1,785	0	50,000	2,374	0,4382	-0,8337	6,932
PM10	0,008	0,009	0,182	4,48	42,594	2,727	0	50,000	2,466	0,4009	-0,6965	6,222
PM11	0,308	0,233	5,364	25,5	16,665	1,93	0	50,000	1,823	0,7563	-0,459	3,968
PM12	0	0	0,011	0,664	40,83	8,495	0	50,000	2,736	0,3265	-0,2693	4,114
PM13	0,244	0,078	0,387	4,852	38,464	5,975	0	50,000	2,536	0,5481	-2,437	15,48
PM14	0	0,05	0,355	8,957	35,282	5,356	0	50,000	2,455	0,517	-0,7145	4,209
PM15	0,143	1,912	24,517	22,573	0,844	0,011	0	50,000	0,9275	0,5698	-0,1635	3,759
PM16	0,165	0,145	0,731	7,481	35,022	6,499	0	50,043	2,515	0,6064	-1,938	9,743
PM17	0,078	0,104	0,409	0,557	30,428	18,464	0	50,040	2,874	0,449	-3,62	26,88
P1 (Box)	2,534	1,752	0,913	2,164	31,788	10,849	0	50,000	2,398	1,158	-2,209	6,907
P2 (Box)	0	0	0,02	0,417	43,092	6,471	0	50,000	2,735	0,2859	-0,4575	5,635
P 1.1	0	0,048	0,135	0,767	34,82	14,283	0	50,053	2,841	0,363	-1,676	13,66
S2	0	0	0	0,21	41,964	7,843	0	50,017	2,781	0,2635	-0,01081	5,132
S3	0	0	0,064	1,036	35,563	13,337	0	50,000	2,834	0,3389	-0,9845	8,055

**Tabela III.1:** Continuação...

<b>Pontos</b>	<b>Granulo</b>	<b>AMG</b>	<b>AG</b>	<b>AM</b>	<b>AF</b>	<b>AMF</b>	<b>Finos</b>	<b>Total</b>	<b>Média</b>	<b>Seleção</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Curtose</b>
<b>S4</b>	0	0,022	0,056	0,112	43,719	6,11	0	50,019	2,782	0,2397	-1,979	30,78
<b>S6</b>	0	0,028	0,207	2,187	44,066	3,512	0	50,000	2,541	0,3853	-1,031	8,202
<b>S7</b>	0	0	0,003	0,042	43,761	6,286	0	50,092	2,786	0,219	0,3986	6,799
<b>S8</b>	0	0	0,02	1,111	28,938	15,081	4,75	49,900	3,176	1,149	3,04	13,35
<b>S9</b>	0,196	0,285	0,249	0,68	39,771	8,819	0	50,000	2,743	0,4937	-4,417	32,64
<b>S10</b>	5,068	1,431	0,658	0,689	33,684	8,47	0	50,000	2,264	1,375	-1,924	5,066
<b>S11</b>	0,734	0,241	0,034	1,162	37,702	10,127	0	50,000	2,718	0,6361	-4,309	26,76
<b>S12</b>	0,792	0,059	0,048	0,611	38,831	9,7	0	50,041	2,701	0,6206	-4,311	28,06
<b>S13</b>	0	0	0,014	0,641	39,7	7,795	1,75	49,900	2,892	0,9817	4,744	27,38
<b>S14</b>	17,217	1,014	0,403	1,313	26,186	3,867	0	50,000	1,21	1,892	-0,4686	1,307
<b>1</b>	0,334	0,573	1,644	19,874	53,628	19,394	4,554	100,001	2,698	1,214	2,318	12,74
<b>2</b>	0	0	0,05	3,617	61,417	29,137	5,523	99,744	3,01	1,094	3,571	17,65
<b>3</b>	0,19	0,454	2,134	51,688	30,918	3,056	11,5	99,940	2,522	1,753	2,405	8,349
<b>4</b>	1,339	0,239	0,362	3,652	79,82	12,055	2,532	99,999	2,722	0,9885	2,24	22,55
<b>5</b>	0	0	0,022	5,181	79,524	14,241	1,01	99,978	2,709	0,5424	3,93	35,53